نشریه اقتصاد و توسعه کشاورزی
جلد ۳۴، شماره ۴، زمستان ۱۳۹۹، ص. ۵۰۱-۴۸۳

Journal of Agricultural Economics and Development
Vol. 34, No. 4, Winter 2021, p. 483-501

مقاله پژوهشی

اثرات اقتصادی تغییر اقلیم و سناریوهای مدیریت منابع آب: کاربرد مدل هیدرو-اقتصادی مبتنی بر ریسک

فاطمه ثانی[1]- قادر دشتی[2*]- ابوالفضل مجنونی هریس[3]- جواد حسین‌زاد[4]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۷/۲۹
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۰/۲۲

چکیده

حوضه آجی‌چای یکی از بزرگترین مناطق کشاورزی و مصرف آب در حوضه دریاچه ارومیه است که در سال‌های اخیر به دلیل اثرات تغییر اقلیم و عوامل انسانی، کارکرد خود در تأمین حق‌آبه دریاچه ارومیه را از دست داده است. از این‌رو هدف مطالعه حاضر، بررسی اثرات سناریوهای اقلیمی و سناریوهای مدیریت منابع آب بر مقدار آب در دسترس، نیاز آبی گیاهان، الگوی کشت، عملکرد و سود کشاورزان در شهرستان سراب به عنوان یکی از سرشاخه‌های اصلی آجی چای می‌باشد. بدین منظور از مدل هیدرو- اقتصادی مبتنی بر ریسک بهره گرفته شد که در بخش اقتصادی از مدل برنامه‌ریزی ریاضی درجه دوم توأم با ریسک و در بخش هیدرولوژیکی از مدل WEAP-MABIA استفاده گردید. داده‌های مورد نیاز از تکمیل ۲۱۰ پرسشنامه از کشاورزان در سال ۱۳۹۷ جمع‌آوری گردید. برای تولید داده‌های روزانه اقلیمی از مدل HadCM3 و ریزمقیاس‌سازی LARS-WG تحت سناریوی‌ها انتشار A2، B1 و A1B استفاده شد. نتایج نشان داد که تغییر اقلیم باعث کاهش سود و اشتغال بخش کشاورزی شده و الگوی کشت به سمت محصولات با نیاز آبی پایین تغییر خواهد یافت. اعمال سناریوی افزایش راندمان آبیاری علاوه بر استفاده مفید و موثرتر از آب تخصیصی، سود کشاورزان را نیز افزایش خواهد داد که نسبت به سناریو کاهش سهم آب کشاورزی وضعیت مطلوبتری را ارائه می‌دهد. در مجموع نتایج این مطالعه بیانگر آن است که در صورت ثابت ماندن روش‌های مدیریتی در آینده‌ی نزدیک، عملکرد محصولات کاهش چشمگیری خواهد یافت. از این‌رو بهینه‌سازی روش‌های مدیریتی و استفاده از ارقام با عملکرد بالاتر به عنوان راهکارهای مقابله با اثرات تغییر اقلیم توصیه می‌شود.

واژه‌های کلیدی: برنامه‌ریزی درجه دوم توأم با ریسک، حوضه آجی چای، مدل هیدرو–اقتصادی، WEAP-MABIA

مقدمه

بخش کشاورزی وابسته‌ترین بخش اقتصادی به اقلیم است و اقلیم تعیین‌کننده اصلی مکان، منابع، تولید و بهره‌وری فعالیت‌های کشاورزی است و انتظار می‌رود با ادامه روند گرمایش زمین، تولید در بیش از نیمی از زمین‌های قابل‌کشت در ۵۰ سال آینده محدود شود (۹). به عبارت دیگر می‌توان نتیجه‌گیری کرد که بروز هرگونه تغییر احتمالی اقلیمی در آینده، تولیدات کشاورزی را در سطوح مختلف دستخوش تغییرات جدی کرده و منجر به کاهش بهره‌وری عوامل تولید، کاهش درآمد کشاورزان، کاهش سطح زیرکشت و شاغلین بخش کشاورزی می‌شود. از آنجایی که کشاورزی فعالیتی اقتصادی است که هدف آن تولید غذا و در نتیجه امنیت غذایی حال و آینده می‌باشد، تغییر اقلیم می‌تواند این امنیت را با مخاطره روبرو سازد (۱۲).

دریاچه‌ها منابع آب طبیعی هستند که تحت تأثیر تغییرات اقلیمی، هیدرولوژیکی، ژئومورفولوژیکی و فعالیت‌های انسان در حوضه آبریزشان می‌باشند. تغییرات تراز یا مساحت سطح دریاچه‌ها باعث اثرات منفی بر فعالیت‌های اقتصادی، کشاورزی و دیگر فعالیت‌های انسانی در حوضه دریاچه‌ها می‌شوند. حوضه آجی‌چای یکی از بزرگترین مناطق کشاورزی و مصرف آب در حوضه دریاچه ارومیه است که در سال‌های اخیر از یک طرف به دلیل اثرات تغییر اقلیم و کم بودن ریزش‌های جوی و از طرف دیگر به دلیل عوامل انسانی از جمله بهره‌برداری بیش از حد از منابع زیرزمینی، الگوی کشت نامناسب کشاورزی و توسعه بخش‌های اقتصادی کارکرد خود در تأمین حق‌آبه دریاچه ارومیه را از دست داده و جزو کانون‌های بروز

۱، ۲ و ۴- به‌ترتیب دانشجوی دکتری، استاد و دانشیار گروه اقتصاد کشاورزی، دانشگاه تبریز
(*- نویسنده مسئول: Email: ghdashti@yahoo.com)
۳- دانشیار گروه آبیاری و زهکشی، دانشگاه تبریز

DOI: 10.22067/jead.2021.17813.0

بحران در دریاچه قلمداد شده است. براساس آمار ایستگاه آب‌سنجی سرین‌دیزج (ایستگاه خروجی حوضه) متوسط بلند مدت جریان سالانه خروجی از حوضه آجی‌چای (سال‌های ۹۵-۱۳۶۵) ۲۳۰ MCM می‌باشد. لازم بذکر است که متوسط جریان سالانه خروجی از حوضه طی دوره ۷۶-۱۳۶۵ (می‌توان گفت قبل از روند کاهشی سطح دریاچه) ۳۶۰ MCM و طی دوره ۹۵-۱۳۷۷ ۱۰۰ MCM بوده است. در حالی که براساس آخرین مصوبه وزارت نیرو در سال ۱۳۹۶ حقابه زیست محیطی دریاچه که باید از حوضه آجی‌چای تأمین گردد سالانه ۲۲۰ MCM است که به اندازه ۱۲۰ MCM بیشتر از متوسط جریان سالانه خروجی از حوضه است که بایستی تامین گردد (۳۷).

هر یک از شهرستان‌های تبریز، سراب، بستان‌آباد، هریس، آذرشهر، اسکو و شبستر به ترتیب ۲۳، ۳۸، ۱۲، ۸، ۷، ۷، ۳ و ۲ درصد از کل مساحت کشت‌های آبی حوضه آجی چای را در سال ۲۰۱۵ را به خود اختصاص داده‌اند. تمرکز کشاورزی آبی در شهرستان‌های تبریز و سراب ۶۱ درصد بوده و شهرستان سراب به عنوان مرکز اصلی کشاورزی حوضه آجی‌چای شناخته می‌شود. بیشترین مساحت باغ نیز مربوط به شهرستان‌های تبریز، آذرشهر، سراب و اسکو است که به ترتیب ۲۸، ۱۷، ۱۶ و ۱۵ درصد از مساحت کل باغ حوضه را تشکیل می‌دهند (۱). بر این اساس شهرستان سراب با دارا بودن سرشاخه‌های اصلی آجی چای، نسبت به شهرستان‌های دیگر نقش بیش‌تری در تولیدات زراعی و باغی و در نتیجه مصرف آب کشاورزی دارد. نتایج پژوهش‌های گوناگون بیانگر وقوع تغییر اقلیم در حوضه آبریز آجی‌چی و تأثیر آن بر منابع آب این حوضه در افق ۱۰۰ ساله است (۳۲، ۳۵ و ۴۲). دشت سراب نیز از این قاعد مستثنی نبوده و پیش‌بینی می‌شود که تحت تاثیر تغییر اقلیم در دوره آتی دما بین ۰/۳ تا ۰/۵ درجه سیلسیوس افزایش یافته و بارش‌های تابستانه بین ۳ تا ۱۶ درصد کاهش یابد (۲).

نیاز آبی حوضه با توسعه منطقه و تغییرات اقلیمی در حال افزایش است و در شرایط خشکسالی حوضه‌های دیگر، انتقال آب از آن‌ها برای نیازهای شرب و کشاورزی ممکن است محدود گردد که نتیجه آن فشار مضاعف به منابع حوضه آبریز آجی چای جهت تامین آب مورد نیاز خواهد بود. در این خصوص سناریوهای مدیریتی از جمله کم‌آبیاری محصولات کشاورزی، کاهش سهم آب بخش کشاورزی، افزایش راندمان آبیاری و تغییر الگوی کشت به سمت محصولات کم‌مصرف می‌تواند در کاهش میزان مصرف آب و به ویژه دستیابی به تعادل منابع آبی حوضه آبریز آجی چای مؤثر باشند.

مدیریت منابع آب نیازمند در نظر گرفتن تمامی عناصر و اثرات متقابلی که بین فعالیت‌های انسانی و اقتصادی و منابع آب و زمین وجود دارد، می‌باشد. به عبارتی در نظر گرفتن جنبه‌های اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی در مدیریت منابع مهم قلمداد می‌شود (۱۶). از این‌رو روش‌هایی که توانایی لحاظ کردن این جنبه‌های مختلف را داشته باشد، از جمله مدل هیدرو-اقتصادی، یک ابزار مناسب برای سیاست‌گذاران در ارزیابی سیستم‌های منابع آب می‌باشد (۷). این مدل یک الگوی مناسب برای ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر کشاورزی و آب محسوب می‌شود.

امروزه با توجه به نقش تغییر اقلیم در بخش کشاورزی و مدیریت منابع آب در کشورهای مختلف مطالعات و تحقیق‌های گوناگونی در این زمینه انجام شده است. محمودی و پرهیزکاری (۱۹) با استفاده از مدل PMP اثر تغییر اقلیم بر عملکرد محصولات منتخب و سود ناخالص کشاورزان دشت قزوین را بررسی نمودند. برآورد نشان داد که با اعمال سناریوی یک درجه افزایش دما و ۱۰ میلی‌متر کاهش بارش، عملکرد جو، ذرت، چغندر و یونجه به ترتیب ۱۵، ۲۴، ۱۳ و ۱۷ درصد افزایش و عملکرد گندم، گوجه‌فرنگی و کلزا به ترتیب ۲۹، ۲۰ و ۲۳ درصد کاهش می‌یابد. الفی و همکاران (۳) تأثیر متغیرهای آب و هوایی بر تخصیص زمین بین گیاهان سالانه زراعی ایران را با استفاده از مدل لاجیت چندگانه کسری فضایی مورد مطالعه قرار دادند. براساس یافته‌های پژوهش با افزایش یک درجه‌ای میانگین دما، سطح زیرکشت غلات، سبزی‌ها و گیاهان جالیزی به ترتیب ۱، ۰/۱ و ۰/۲ درصد افزایش و سهم زیرکشت حبوبات به میزان ۰/۳ درصد کاهش می‌یابد و افزایش بارش سالانه به میزان یک میلی‌متر، سهم سطح زیرکشت سبزی‌ها به میزان ۰/۰۰۸ درصد کاهش می‌دهد. پرهیزکاری (۲۷) با بکارگیری مدل برنامه‌ریزی ریاضی اثباتی چند دوره‌ای (MP-PMP) اثرات تغییر اقلیم بر تولیدات کشاورزی و وضعیت درآمدی کشاورزان اراضی پایین دست سد طالقان بررسی نمودند. یافته‌ها حاکی از آن بود که در اثر افزایش دما و کاهش بارندگی عملکرد جو آبی، ذرت دانه‌ای، چغندرقند و یونجه به ترتیب ۱۴/۹، ۱۹/۱، ۱۷/۴ و ۱۳ درصد افزایش و عملکرد گندم آبی، گوجه‌فرنگی و کلزا به ترتیب ۲۱/۴، ۱۶/۵ و ۲۶/۲ درصد کاهش می‌یابد. مجموع بازده ناخالص کشاورزان نیز نسبت به سال پایه ۵/۱۶ درصد کاهش یافته و از ۹۲۰۸ به ۸۷۳۳ میلیون ریال می‌رسد. گروز (۱۵) تغییرات اقلیمی نامشخص جهانی برای برنامه‌ریزی مدیریت منطقه‌ای آب در جنوب کالیفرنیا را مطالعه نمودند. برای این منظور از نرم‌افزار مدیریت یکپارچه منابع آب WEAP[1] استفاده کردند. برابر یافته‌های پژوهش تغییرات اقلیمی می‌تواند با افزایش ۱۰ درصدی تقاضای آب و کاهش عرضه آب محلی تا ۴۰ درصد و کاهش آب زیرزمینی تا ۱۵ درصد تا سال ۲۰۴۰ منطقه را تحت فشار قرار دهد. نتایج مطالعه ویجلینین و همکاران (۴۰) اثرات تغییر اقلیم بر هیدرولوژی و منابع آب حوضه ووکسی در شرق فنلاند نشان داد که تغییر اقلیم بر روی میزان ذوب برف اثر گذاشته و سبب بروز تغییرات فصلی در میزان رواناب و تراز آب دریاچه‌ها می‌گردد. ضمن اینکه

1- Water Evaluation and Planning System

رواناب و تراز دریاچه‌ها در فصول بهار و تابستان کاهش و در پاییز و زمستان افزایش خواهد یافت. ژانگ و همکاران (۴۳) به بررسی اثرات تغییر اقلیم بر بخش کشاورزی در کشور چین طی دوره ۲۰۱۰-۱۹۸۰ پرداختند. یافته‌ها نشان داد که در انتهای قرن حاضر عملکرد محصولات برنج، گندم و ذرت چین به ترتیب به میزان ۳۶/۵۲، ۱۸/۲۶ و ۴۵/۱ درصد کاهش یابد. مطالعات اشاره شده معمولا یک بعد از مدیریت منابع آب کشاورزی یعنی مدیریت عرضه یا مدیریت تقاضای آب را مورد توجه قرار داده‌اند، حال آنکه لازم است مدیریت عرضه و تقاضای آب به طور همزمان و در قالب مدل‌های هیدرو- اقتصادی مورد بررسی قرار گیرد. بدین منظور در چند سال اخیر محققین زیادی در خارج از کشور اقدام به بررسی مدیریت هم‌زمان عرضه و تقاضای آب به‌ویژه در بخش کشاورزی نموده‌اند.

مدلین-آزوارا و همکاران (۲۴) در پژوهشی با استفاده از مدل هیدرو- اقتصادی به بررسی دامنه وسیعی از گزینه‌های مدیریت سیستم آب منطقه‌ای در شمال کالیفرنیا و مکزیک پرداختند. آن‌ها اذعان داشتند که مدل‌های بهینه‌سازی هیدرو-اقتصادی قابلیت بررسی گزینه‌های مختلف مدیریتی آب در راستای تخصیص بین تقاضای مختلف (همچون کشاورزی-محیطزیست-مصرف شرب شهری) را دارد. کهیل و همکاران (۱۸) با بهره‌گیری از مدل هیدرو- اقتصادی، به بررسی سیاست‌های مدیریت آب کارا برای تطبیق با تغییر اقلیم در حوضه رودخانه جوکار در اسپانیا پرداختند. یافته‌های تحقیق نشان داد که خشکسالی از طریق تأثیرگذاری بر فعالیت‌های کشاورزی و زیست‌محیطی، اثرات نامطلوبی بر رفاه اجتماعی داشته و باعث کاهش آن بین ۶۳ تا ۱۳۸ میلیون یورو گردیده است. همچنین نتایج بررسی سیاست‌های مدیریتی آب نشان داد که تشکیل بازار آب یک ابزار مدیریتی مناسب برای مقابله با اثرات اقتصادی خشکسالی به‌شمار می‌رود. وارلا-اورتگا و همکاران (۳۸) با بکارگیری مدل هیدرو- اقتصادی، اثرات اقتصادی تغییر اقلیم در حوضه رودخانه گادیانا در اسپانیا را مورد ارزیابی قرار دادند. بنابر یافته‌های پژوهش، تحت سناریوی تغییر اقلیم شدید، آب در دسترس به اندازه ۱۰ تا ۵۰ درصد، عملکرد محصولات تا ۲۰ درصد، درآمد بین ۱۰ تا ۲۰ درصد کاهش و نیاز آبی محصولات تا ۲۰ درصد طی دوره ۲۰۴۰-۲۰۱۰ افزیش خواهد یافت. همچنین تحت سناریو اقلیمی شدید A2، گندم به جای ذرت به خاطر نیاز آبی کم گندم کشت خواهد شد و کشاورزان الگوی کشت خود را به سمت محصولات با نیاز آبی کم تغییر خواهند داد.

رفیعی دارانی و همکاران (۳۰) با بکارگیری مدل هیدرو- اقتصادی، اثر سیاست اصلاح شبکه‌های بازاریابی بر تولیدات کشاورزی در دشت نیشابور را مطالعه نمودند. بدین منظور در بخش اقتصادی از مدل برنامه‌ریزی مثبت منطقه‌ای و در بخش هیدرولوژیکی از مدل WEAP استفاده نمودند. مطابق یافته‌های تحقیق اصلاح شبکه‌های بازاریابی باعث تغییر الگوی کشت می‌گردد، به طوری که باعث افزایش سطح زیرکشت محصولات با حاشیه بازاریابی زیاد می‌شود. از این‌رو تغییر الگوی کشت (در نتیجه اصلاح شبکه بازاریابی) باعث افزایش مصرف آب و افزایش فشار بر آب‌های زیرزمینی دشت نیشابور می‌گردد. امین و همکاران (۵) به بررسی اثرات تغییر اقلیم و سناریوهای اقتصادی-اجتماعی بر تقاضای آب در زمان حال و آینده در حوضه رود سند پاکستان با استفاده از مدل هیدرو-اقتصادی پرداختند. مجموعه‌ای از سناریوهای مدیریتی و اقلیمی برای دوره زمانی ۲۰۵۰-۲۰۰۶ با استفاده از مدل WEAP در بالادست حوضه رودخانه ایندوس شبیه‌سازی گردید. نتایج حاکی از آن بود که ادامه وضع موجود بدون دخالت در آن باعث افزایش تقاضای آب گردیده و تقاضای برآورد نشده به ۱۳۴ میلیون متر مکعب خواهد رسید. همچنین اجرای سیاست‌های مختلف مدیریتی از جمله کاهش تلفات انتقال آب به بخش‌های تقاضا، کاهش نیاز آب سرانه و از همه مهم‌تر تکمیل سدهای درحال ساخت باعث مقابله با کم‌آبی خواهد شد.

بسیاری از مطالعات صورت گرفته براساس مدل‌های هیدرو- اقتصادی با فرض ریسک خنثی بودن کشاورزان توسعه داده شده و حوادث ریسکی در فعالیت‌های کشاورزی نادیده گرفته شده است. در معدود مطالعاتی رفتار ریسک‌گریزی کشاورزان (۱۰، ۳۱ و ۴۱) مورد ارزیابی قرار گرفته است، ضمن اینکه مطالعات اندکی ریسک را در مدل هیدرو-اقتصادی وارد نموده‌اند (۷، ۱۱، ۱۳ و ۳۸). اکثر مطالعات از مدل‌های هیدرولوژیکی متفاوتی از جمله MIKE BASIN، MODSIM، SWAT و WaSIM بهره گرفته‌اند. با این حال مطالعاتی که از مدل WEAP در کنار مدل‌های اقتصادی-اجتماعی استفاده نموده‌اند، اندک می‌باشد. از جمله این مطالعات می‌توان به مطالعه پورکی و همکاران (۲۸) اشاره کرد که از ترکیب مدل WEAP و روش‌های اقتصاد سنجی برای ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر آب کشاورزی استفاده نمود؛ یا مطالعه وارلا-اورتگا و همکاران (۳۹) که با کاربرد مدل WEAP و مدل بهینه‌یابی اقتصادی توأم با ریسک، به ارزیابی عدم حتمیت‌های آب و هوا بر منابع آب زیرزمینی پرداختند.

مرور مطالعات انجام شده در زمینه موضوع نشان می‌دهد که در مطالعات داخلی، تنها یک بعد از اثرات تغییرات اقلیمی یعنی بعد اقتصادی و یا هیدرولوژی ارزیابی شده است. لذا این تحقیق به دنبال ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر زیربخش زراعت با استفاده از یک مدل دو رشته‌ای اقتصادی- هیدرولوژیکی است که از دیدگاه مدیریتی بسیار مهم می‌باشد. در واقع نادیده گرفتن مسائل هیدرولوژیکی در ارزیابی اقتصادی تغییرات اقلیمی در مدل‌های اقتصادی باعث به وجود آمدن انحراف (بیش‌تر یا کمتر) از حد برآورد اثرات می‌شود که این تحقیق با تلفیق دو مدل برنامه‌ریزی منابع آب و برنامه‌ریزی ریاضی به دنبال پر

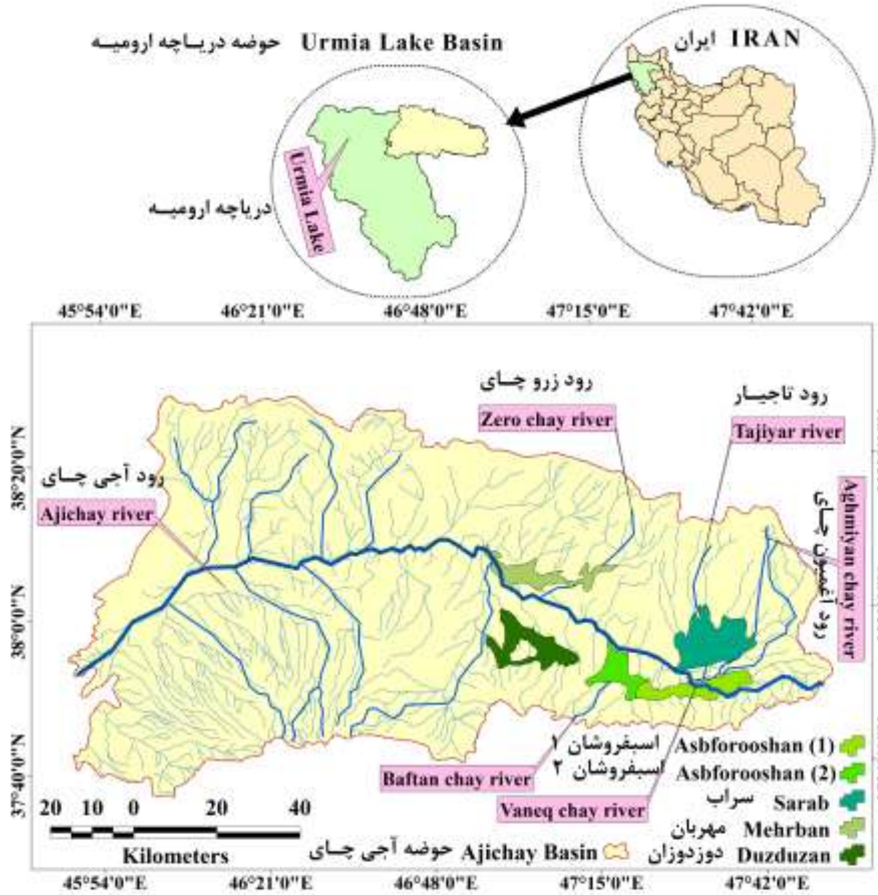
کردن این شکاف است. همچنین در مطالعات داخلی مشابه از نظر مدل مورد استفاده (مدل هیدرو–اقتصادی)، رفتار ریسک‌گریزی کشاورزان نادیده گرفته شده و ریسک را در مدل هیدرو– اقتصادی وارد ننموده‌اند. لذا مطالعه حاضر با وارد کردن ریسک در مدل هیدرو– اقتصادی در نوع خود اقدامی جدید به شمار می‌آید. بدین ترتیب هدف اصلی این مطالعه بررسی اثرات اقتصادی تغییر اقلیم و سناریوهای مدیریت منابع آب بر زیربخش زراعت در حوضه آبریز آجی چای می‌باشد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در پژوهش حاضر حوضه آبریز آجی‌چای است. این حوضه با مساحتی بالغ بر ۱۲۶۰۰ کیلومتر مربع بعد از حوضه زرینه‌رود بزرگترین زیرحوضه دریاچه ارومیه بشمار می‌آید. این حوضه در شمال‌غرب ایران (استان آذربایجان شرقی) و شرق دریاچه بین طول‌های جغرافیایی '۴۶°۴۵ و '۵۰°۴۷ شرقی و عرض‌های جغرافیایی '۳۹°۳۷ و '۲۸°۳۸ شمالی واقع شده است. شهرهای تبریز، آذرشهر، سراب، بستان آباد، هریس و اسکو نقاط مهم شهری حوضه آبریز آجی‌چای بشمار می‌آیند.

طبق مطالعات انجام شده توسط سازمان آب منطقه‌ای استان آذربایجان شرقی، ده آبخوان اصلی در حوضه آبریز آجی‌چای شناسایی شده است (شکل ۱) که از این تعداد آبخوان‌های سراب، اسب فروشان، دوزدوزان و بخشی از آبخوان مهربان در شهرستان سراب واقع هستند.



شکل ۱- شمائی از حوضه آجی‌چای و آبخوان‌های مورد مطالعه

Figure 1- An overview of Ajichay basin and study aquifers

به منظور لحاظ کردن تفاوت‌های عادات کشاورزان و نیز منابع آب و حاصلخیزی اراضی، حوضه آجی چای به ۳۶ دشت تقسیم‌بندی گردید. برای این منظور در ابتدا مرز اولیه مناطق کشاورزی و دشت‌ها براساس آمار و اطلاعات کشاورزی، مرز آبخوان‌ها و محیط Google Earth تعیین گردید. سپس در محیط Google Earth تا حد امکان نقاط ورودی (محل ورود رودخانه‌ها به دشت‌ها و مناطق کشاورزی) در

هر یک از مناطق کشاورزی تعیین گردید و در استخراج زیرحوضه‌ها در محیط GIS این نقاط بعنوان خروجی زیرحوضه‌های بالادست (زیرحوضه‌های کوهستانی) و ورودی زیرحوضه‌های پایین‌دست معرفی گردید و بدین طریق برای تمام رودخانه‌ها و همچنین شاخه‌های آنها در حد امکان مناطق کوهستانی و دشتی از هم جدا گردید. این کار دو مزیت اصلی دارد: اول اینکه موجب می‌شود مدل‌سازی هیدرولوژیکی مناطق کوهستانی و برآورد متغیرهای مدنظر در آنها بصورت جدا از مناطق کشاورزی و دشت‌ها (مناطق دامنه‌ای رشته کوه‌ها) صورت گیرد و این امر افزایش دقت مدل‌سازی و برآورد متغیرها (بویژه رواناب و تبخیر و تعرق واقعی) را بدنبال دارد. ثانیاً باعث می‌شود بتوان میزان جریان‌های ورودی به هر دشت و مناطق کشاورزی را از طریق مدل‌سازی تعیین کرد.

مدل هیدرو-اقتصادی

در مجموع مدل‌های هیدرو-اقتصادی دو جزء اصلی هیدرولوژیکی و اقتصادی را شامل می‌شوند، لذا چارچوب اصلی این مطالعه بر اساس دو بخش مذکور الگوسازی شده است. مدل اقتصادی (MPM[1]) و مدل هیدرولوژیکی (WEAP-MABIA)، هر کدام به صورت جداگانه اجرا شده ولی خروجی یک مدل به عنوان ورودی در مدل دیگر به‌کار گرفته می‌شود. در این بخش به ویژگی هر کدام از مدل‌ها و سناریوهای انتخاب شده پرداخته خواهد شد.

مدل اقتصادی

MPM یک مدل بهینه‌یابی است که با استفاده از الگوی برنامه‌ریزی غیرخطی توأم با ریسک (مدل برنامه‌ریزی درجه دوم توأم با ریسک)، رفتار کشاورزان را در شرایط ریسکی نمایش می‌دهد. در این مدل مقدار بهینه زمین برای تخصیص به محصولات مختلف تحت تکنولوژی‌های مختلف آبیاری (آبیاری سطحی، قطره‌ای و بارانی) مشخص می‌گردد. هدف مدل، حداکثر کردن مطلوبیت مورد انتظار کشاورزان نسبت به برخی محدودیت‌های فنی و ساختاری می‌باشد.

مدل MPM در تحلیل مسائل کشاورزی و منابع طبیعی یک مورد مناسب محسوب می‌گردد، چراکه این مدل ارتباط بین عناصر اقتصادی (از جمله هزینه‌ها و درآمدهای مربوط به تولید) و عناصر فیزیکی و زیست‌محیطی مزرعه (از جمله محدودیت‌های منابع طبیعی یا آلودگی‌های ناشی از تولید محصول) را به‌خوبی نمایش می‌دهد (۸). مدل برنامه‌ریزی درجه دوم توأم با ریسک[2] (QRP) در تحلیل مدیریت منابع کشاورزی و تصمیم‌گیری برای الگوی کشت به صورت گسترده‌ای بکار گرفته شده است (۷، ۱۱، ۳۹).

تابع هدف در مدل QRP (رابطه ۱) حداکثر مطلوبیت مورد انتظار کشاورزان را نشان می‌دهد که از طریق کسر جزء ریسکی از درآمد خالص هر کشت (Z) محاسبه می‌گردد (۱۷). مدل برنامه‌ریزی درجه دوم توأم با ریسک علاوه بر محدودیت‌ها و هدف‌های بهره‌برداران، می‌توانند درجه اعتقاد یا باور آن‌ها در مورد احتمال وقوع رویدادهای ریسکی[3] و همچنین درجه تمایل یا گرایش آن‌ها برای رویارویی با مخاطرات[4] را نیز در برنامه‌ریزی دخالت دهند. به عقیده هیزل و نورتون (۱۷)، ضریب ریسک‌گریزی بهره‌برداران کشاورزی را می‌توان با ایجاد الگوی برنامه‌ریزی بهره‌برداری و تغییر پارامتر ریسک‌گریزی بهره‌بردار تعیین کرد. در این روش، ضریب ریسک‌گریزی بهره‌بردار میزانی از پارامتر متغیر ریسک‌گریزی خواهد بود که سبب می‌شود اختلاف میان برنامه پیشنهادی الگوی ریاضی بهینه و برنامه کنونی بهره‌بردار به حداقل برسد. جزء ریسکی، ترکیبی از ضریب ریسک‌گریزی کشاورزان (φ) و انحراف‌معیار ایجاد شده درآمد مزرعه ($\varphi(Z)$) به وسیله‌ی مجموعه‌ای از متغیرهای اقلیمی و طبیعی (عملکرد) و بازاری (قیمت) است. به منظور متمایز ساختن متغیرها از پارامترها، متغیرها با حروف بزرگ و پارامترها با حروف کوچک نشان داده شده است:

$$\text{Max} \quad U = Z - \varphi.\sigma(Z) \qquad (۱)$$

ضریب ریسک‌گریزی کشاورزان، نگرش ریسکی کشاورزان در انتخاب بین سودآوری یا فرار از ریسک را نمایش می‌دهد. کشاورزان ریسک‌پذیر به دنبال حداکثرسازی سود خود بوده و به کشت محصولات پرسود و ریسکی می‌پردازند. کشاورزان ریسک‌گریز ($\varphi > 0$) از پذیرش ریسک امتناع کرده و ترکیبی از محصولات با ریسک کم را برای کشت انتخاب می‌کنند و به همین‌خاطر بخشی از سود خود را فدای نپذیرفتن ریسک می‌نمایند. مطالعات نظری (۱۴ و ۴۱) و تجربی متعددی (۶، ۱۰)، نشان داده‌اند که اغلب کشاورزان به طور معمول ریسک‌گریز بوده و به جای حداکثر کردن سود به دنبال حداکثر نمودن مطلوبیت می‌باشند. نادیده گرفتن رفتار ریسک‌گریزی کشاورزان، نتایج غیرواقعی و غیرقابل قبولی از برنامه‌های مدیریتی کشاورزان را موجب می‌شود (۱۷).

درآمد مزرعه براساس رابطه (۲) بدست می‌آید که در آن gm_{jr} بازده ناخالص هر محصول (j) با استفاده از تکنولوژی (r) که از تفاضل درآمد (قیمت ضرب در عملکرد) و هزینه‌های تولید بدست می‌آید، X_{jr} سطح زیرکشت هر محصول با استفاده از تکنولوژی r، fco هزینه فرصت نیروی‌کار خانوادگی، $flab_p$ تعداد نیروی‌کار خانوادگی

1- Mathematical Programming Method
2- Quadratic Risk Programming
3- Risk Perceptions
4- Risk Attitudes

در هر دوره از سال، hlw دستمزد نیروی‌کار استخدام شده، $hlab_p$ تعداد نیروی‌کار استخدام شده، wpm^3 قیمت حجمی آب، WC میزان مصرف آب مزرعه، wpha هزینه آبیاری پرداخت شده به ازای هر هکتار، sirrg سطح زیرکشت آبی مزرعه را نشان می‌دهد (۱۱):

$$z = \sum_j \sum_r gm_{jr}.X_{jr} - fco \sum_p flab_p - hlw.\sum_p hlab_p - wpm^3 WC - wpha.sirrg \quad (۲)$$

تابع حداکثرسازی فوق شامل چندین محدودیت از جمله محدودیت آب (مهم‌ترین عامل تأثیرپذیر در اثر تغییر اقلیم) است که معادلات ۳ تا ۸ محدودیت‌های مدل را نشان می‌دهند:

$$\sum_{j=1}^{J} \frac{w_{jsi}}{eff_i} x_{js} \leq W_s \qquad \forall s \quad (۳)$$

$$\sum_{j=1}^{J} l_{js} x_{js} \leq L_s \qquad \forall s \quad (۴)$$

$$\sum_{j=1}^{J} m_{js} x_{js} \leq M_s \qquad \forall s \quad (۵)$$

$$\sum_{j=1}^{J} f_{tjs} x_{js} \leq F_{ts} \qquad \forall t, s \quad (۶)$$

$$\sum_{j=1}^{J} pe_{zjs} x_{js} \leq PE_{zs} \qquad \forall z, s \quad (۷)$$

$$\sum_{j=1}^{J} \sum_{s=1}^{S} Sch_{js} x_{js} \leq A \quad (۸)$$

نامعادله‌ی (۳) مربوط به میزان آب در دسترس می‌باشد. در این محدودیت، W_{jsr} نیاز ناخالص آبی برای محصول j در فصل s در هکتار در منطقه i، eff_i راندمان آبیاری در منطقه i و W_s میزان کل آب در دسترس در فصل s برحسب مترمکعب می‌باشد. نامعادله (۴) مربوط به نیروی‌کار بوده که در آن l_{js} معرف مقدار نیروی کار مورد نیاز برای کشت هر هکتار از محصول j در فصل s برحسب نفر-روز کار و L_s معرف کل مقدار نیروی‌کار در دسترس در فصل s برحسب نفر روز است. نامعادله‌ی (۵) مربوط به ساعات استفاده از ماشین‌آلات کشاورزی بوده و در این محدودیت، m_{js} معرف تعداد ساعات استفاده از ماشین‌آلات کشاورزی در هر هکتار از محصول j در فصل s برحسب ساعت در هکتار و M_s، معرف مقدار ساعات کار ماشین‌آلات کشاورزی در دسترس در فصل s برحسب ساعت است.

نامعادلات (۶) و (۷) به ترتیب مربوط به کود شیمیایی و آفت‌کش می‌باشد. در این محدودیت‌های F_{ts} شاخص مقدار کل کود در دسترس از نوع t در فصل s برحسب کیلوگرم و PE_{zs} معرف مقدار آفت‌کش در دسترس از نوع z در فصل s برحسب لیتر است. محدودیت (۸) مربوط به زمین بوده که A معرف مقدار زمین در دسترس برحسب هکتار برای کلیه محصولات مورد مطالعه بوده و نماد Sch_{js} نشان‌دهنده سطح زیر کشت هر کدام از محصولات می‌باشد. برای ارزیابی دقت مدل واسنجی‌شده شده از معیار درصد انحراف مطلق (PAD) استفاده می‌گردد که براساس رابطه (۹) بدست می‌آید:

$$PAD = \frac{\sum_{c-n}^{n} \left| \bar{X}_c - X_c \right|}{\sum_{c-n}^{n} \bar{X}_c} \times 100 \quad (۹)$$

که در آن $\bar{X}_c$ مقدار مشاهده شده و X_c مقدار شبیه‌سازی شده می‌باشد. واسنجی مناسب زمانی است که مقدار PAD به صفر نزدیک شود (۱۱). اعتبارسنجی مدل نیز با استفاده از پارامترهای آماری برای مقایسه زمین و نیروی‌کار شبیه‌سازی شده و مشاهداتی صورت می‌گیرد.

مدل هیدرولوژیکی

در بخش هیدرولوژیک، مدل‌های متنوعی برای بررسی وضعیت آب در سطح حوضه توسعه یافته که لازم است در انتخاب مدل مناسب، امکانات و داده‌های در دسترس و ساختار مدل و ارتباط آن با سایر بخش‌ها مدنظر قرار گیرد. مدل WEAP به لحاظ دسترسی به نرم‌افزار مربوطه و قابلیت‌هایش و همچنین امکان استفاده از آن در کنار مدل‌سازی اقتصادی، در روش‌های هیدرو- اقتصادی از جایگاه قابل قبولی برخوردار است که در مطالعات مرور شده نیز از WEAP در الگوهای هیدرو–اقتصادی استفاده شده است.

در این تحقیق از روش MABIA در بسته نرم‌افزاری WEAP برای شبیه‌سازی تبخیر و تعرق روزانه و محاسبه عملکرد و نیاز آبی محصولات استفاده گردید (۴). MABIA از ضریب گیاهی (Kc) دو جزئی که در FAO-56 توصیف شده است، استفاده می‌کند که در آن مقدار K_c به دو مقدار ضریب گیاهی "پایه" (Kcb) و مولفه دیگری به نام ضریب تبخیر (Ke) که نشان‌دهنده‌ی تبخیر از سطح خاک است تقسیم می‌شود. زمانی که سطح خاک خشک است، اما در ناحیه ریشه رطوبت کافی برای جبران تعرق کامل گیاه وجود دارد، ضریب گیاهی پایه شرایط ET واقعی را نشان‌می‌دهد (۳۶). داده‌های زمانی برای MABIA به صورت روزانه بوده، در حالی‌که در WEAP به صورت ماهانه می‌باشد. ازاین‌رو MABIA داده‌های روزانه تولید کرده و جمع ماهانه آن برای WEAP بکار گرفته می‌شود.

مدل هیدرولوژیکی (WEAP-MABIA) نسبت به برخی پارامترهای اقتصادی- هیدرولوؤیکی از جمله ضریب گیاهی[1]، ظرفیت مؤثر نگه‌داشت آب[2]، ظرفیت نگه‌داشت آب در لایه‌های پایینی خاک[3]،

1- Crop Coefficient
2- Soil Water Capacity
3- Deep Water Capacity

فاکتور مقاومت جریان[1]، هدایت هیدرولیکی منطقه توسعه ریشه[2]، هدایت هیدرولیکی عمیق[3] و جهت جریان ترجیحی[4] واسنجی می‌گردد. پس از اینکه واسنجی مدل انجام شد باید اعتبار آن مورد آزمون قرار گیرد تا ثابت شود که مدل قابلیت انجام پیش‌بینی‌های صحیح را دارد. در این مرحله بدون تغییر در متغیرهای ثابت و پارامترهای کالیبره شده، نتایج مدل با داده‌های مشاهده شده برای دوره دیگری غیر از دوره واسنجی مقایسه می‌شود. واسنجی مدل به صورت دستی و با استفاده از پارامترهای آماری برای مقایسه جریان مشاهده شده و شبیه‌سازی شده انجام می‌گیرد. دقت مدل با استفاده از ضریب نش-ساتکلیف[5] (۱۹۷۰) (NASH) و خطای اریب (BIAS) اندازه‌گیری می‌شود (۷):

$$NASH = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{n}(Q_{s,i} - Q_{o,i})^2}{\sum_{i=1}^{n}(Q_{o,i} - \bar{Q}_o)^2} \quad (۱۰)$$

$$BIAS = 100 \times \frac{\bar{Q}_s - \bar{Q}_o}{\bar{Q}_o} \quad (۱۱)$$

که در آن $Q_{s,i}$ و $Q_{o,i}$ به ترتیب برابر مقادیر شبیه‌سازی و مشاهده‌ای در زمان i و n تعداد مشاهدات و $\bar{Q}_s$ و $\bar{Q}_o$ به ترتیب میانگین مقادیر شبیه‌سازی و اندازه‌گیری شده می‌باشد. واسنجی مناسب زمانی صورت می‌گیرد که مقدار BIAS به صفر و مقدار Nash به یک متمایل گردد.

یکپارچه‌سازی مدل

در شکل (۲) روابط مفهومی مدل اقتصادی و مدل هیدرولوژیکی ارائه شده است. مدل اقتصادی و مدل هیدرولوژیکی به صورت مستقل اجرا شده ولی خروجی یک مدل به عنوان ورودی در مدل دیگر به‌کار گرفته می‌شود (۲۲ و ۲۳). مدل هیدرو- اقتصادی نخست با مدل اقتصادی آغاز می‌گردد. با برآورد مدل بهینه‌یابی MPM الگوی کشت بهینه (X_{jr}) تحت حداکثر کردن مطلوبیت مورد انتظار کشاورزان بایستی محاسبه گردد. الگوی کشت بدست آمده به عنوان ورودی در مدل WEAP بکار رفته و با استفاده از روش MABIA در مدل WEAP، نیاز آبی، تخصیص آب به مناطق براساس میزان آب در دسترس و اولویت‌بندی را محاسبه کرده و عملکرد محصولات را تخمین می‌زند. بعد از اینکه یک بار مدل هیدرو- اقتصادی شبیه‌سازی گردید، برای بار دوم دوباره مدل MPM اجرا می‌گردد. مدل اقتصادی با استفاده از نتایج مدل WEAP مرحله اول، الگوی کشت بهینه کشاورزان نسبت به شرایط جدید را تعیین می‌کند. سپس این الگوی کشت تعدیل شده دوباره به عنوان ورودی در مدل WEAP بکار رفته تا تخصیص آب، تأمین تقاضا و نیاز آبی را تحت شرایط جدید برآورد نماید. این پروسه به طور مرتب تکرار شده تا یک الگوی کشتی تعیین گردد که با استفاده از آن سیستم هیدرولوژیکی قادر به تأمین نیاز آبی محصولات بهینه را داشته باشد.

یکی از سناریوهای در نظر گرفته شده برای مدیریت منابع آب افزایش راندمان آبیاری از طریق تغییر سیستم‌های آبیاری از سطحی به تحت‌فشار می‌باشد. فرض می‌شود در حال حاضر محصول کشاورزی jام در منطقه iام به روش سطحی آبیاری می‌گردد. چنانچه میزان تبخیر-تعرق واقعی این محصول در طول فصول آبیاری آن ET_{actj} بوده و راندمان کل آبیاری $EF_{irrsurfj}$ باشد آنگاه مصرف آب آبیاری این محصول ($V_{irrsurfj}$) برابر خواهد بود با:

$$V_{irrsurfj} = \frac{ET_{act\,j}}{EF_{irrsurf\,j}} \quad (۱۲)$$

با توجه به اینکه هدف اصلی مطالعه حاضر کاهش مصرف آب در بخش کشاورزی می‌باشد لذا فرض می‌شود در هر یک از سناریوهای مدیریتی مدنظر، میزان تبخیر-تعرق واقعی محصولات حداکثر برابر با تبخیر-تعرق واقعی آنها در شرایط کنونی باشد و از آن بیشتر نگردد. با تبدیل سیستم آبیاری از سطحی به تحت فشار برای این محصول کشاورزی راندمان آبیاری از $EF_{irrsurfj}$ به $EF_{irrprzj}$ افزایش خواهد یافت لذا مصرف آب محصول j ام در این روش آبیاری بصورت رابطه (۱۳) خواهد بود:

$$V_{irrprzj} = \frac{ET_{actj}}{EF_{irrprzj}} \quad (۱۳)$$

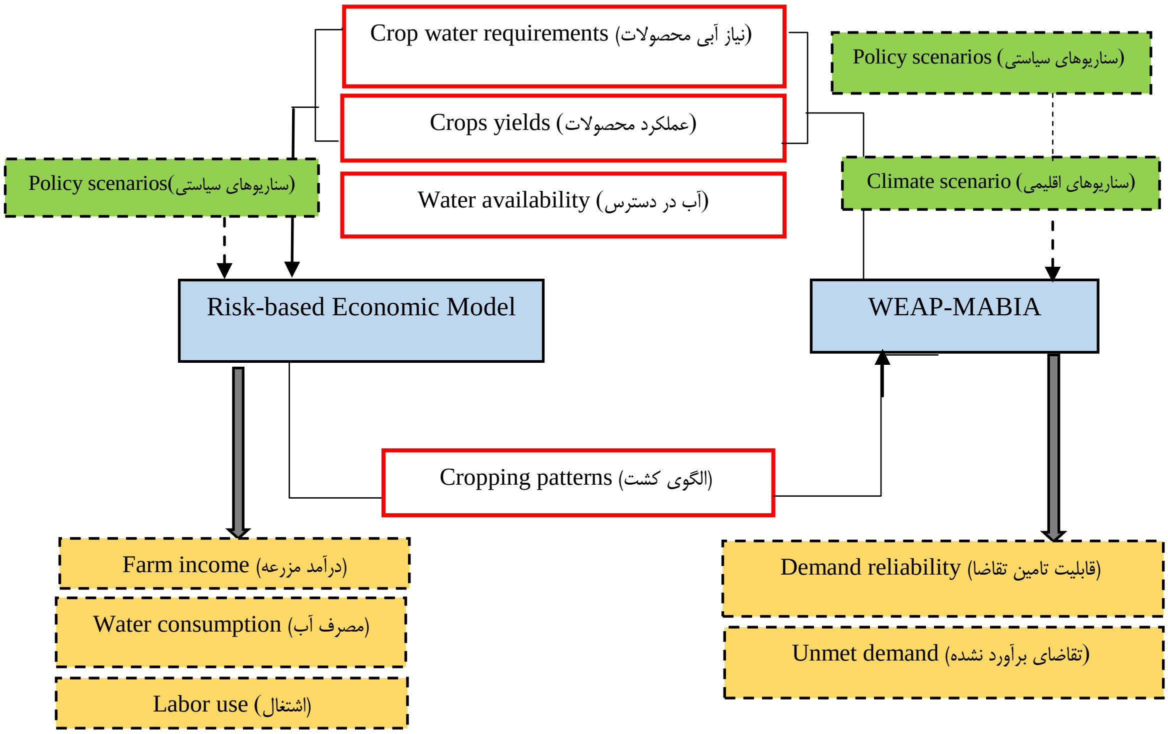
در رابطه فوق $V_{irrprzj}$ میزان مصرف آب محصول jام در سناریو آبیاری به روش تحت فشار بوده و $EF_{irrprzj}$ راندمان کل آبیاری در سیستم تحت فشار می‌باشد. با توجه به این روابط میزان کاهش مقدار آب مصرفی جهت تولید محصول jام تحت سناریو تغییر سیستم‌های آبیاری از سطحی به تحت فشار و همچنین درصد این کاهش برابر است با:

$$\Delta V_{irrprzj} = \frac{ET_{actj}}{EF_{irrsurfj}} - \frac{ET_{actj}}{EF_{irrprzj}} \quad (۱۴)$$

$$PV_{irrprzj} = \frac{\frac{ET_{actj}}{EF_{irrprzj}} - \frac{ET_{actj}}{EF_{irrsurfj}}}{\frac{ET_{actj}}{EF_{irrsurfj}}} \times 100 = \frac{(EF_{irrsurfj} - EF_{irrprzj})}{EF_{irrprzj}} \times 100 \quad (۱۵)$$

در این روابط $\Delta V_{irrprzj}$ مقدار کاهش آب مصرفی محصول کشاورزی jام در اثر جایگزینی آبیاری سطحی با سیستم‌های آبیاری تحت فشار با راندمان آبیاری ($EF_{irrprzj}$) می‌باشد. متغیر $PV_{irrprzj}$ درصد این کاهش را نشان می‌دهد.

1- Runoff Resistance Factor
2- Root Zone Conductivity
3- Deep Conductivity
4- Preferred Flow Direction
5- Nash Sutcliffe



شکل ۲- نمای کلی مدل هیدرو- اقتصادی (H-E)

Figure 2- An overview of hydro-economic model

در حال حاضر مطالعه اثرات تغییر اقلیم بر تولید محصولات زراعی در مقیاس منطقه‌ای به برآورد وضعیت اقلیمی آینده بستگی دارد. این برآوردها توسط مدل‌های اقلیمی و بیش از همه به وسیله مدل‌های گردش عمومی (GCM[1]) انجام می‌گیرد. در مطالعه حاضر از مدل گردش عمومی HadCM3 استفاده شد. برای ریزمقیاس‌سازی مولد آب و هوایی مبتنی بر احتمال LARS-WG بکار گرفته شد که برای تولید بارندگی، تابش، دماهای کمینه و بیشینه در یک ایستگاه تحت شرایط اقلیم حاضر و اینده در مقیاس زمانی روزانه به کار می‌رود. برای شبیه‌سازی میزان تغییر اقلیم، دوره ۲۰۱۸-۱۹۸۷ میلادی به عنوان دوره پایه و دوره ۲۰۵۰-۲۰۱۸ به عنوان دوره آتی انتخاب و برای تولید داده‌های روزانه و ریزمقیاس شده از مدل LARS-WG تحت سناریوی‌ها انتشار A2، B1 و A1B استفاده گردید. کلیه متغیرهای مورد نیاز از جمله اطلاعات مقادیر نهاده‌ها و مقادیر تولید و اطلاعات اقتصادی (از قبیل قیمت محصول، کود، سم، نیروی‌کار و ...) از طریق تکمیل پرسشنامه از ۲۱۰ کشاورز طی دوره زمانی ۹۷-۱۳۹۶ برای پنج محصول گندم آبی، جو آبی، سیب‌زمینی، یونجه و لوبیا که به روش نمونه‌گیری طبقه‌ای انتخاب شده بودند، استخراج گردید. لازم به ذکر است که داده‌ها و اطلاعات مربوط به وضعیت موجود منطقه و اطلاعات جانبی دیگر از سوی مدیریت جهاد کشاورزی شهرستان سراب جمع‌آوری شد. فرایند حل مدل برنامه‌ریزی درجه دوم توأم با ریسک (QRP) در نرم افزار GAMS انجام شد. بخشی از داده‌های تحقیق در قسمت هیدرولوژیکی که مربوط به داده‌های ۳۰ ساله فاکتورهای اقلیمی به صورت سری زمانی از سازمان هواشناسی استان آذربایجان شرقی دریافت گردید.

1- General Circulation Models

نتایج و بحث

با بکارگیری مقادیر سری زمانی روزانه‌ی حداکثر و حداقل دما، ساعات تابش خورشیدی و بارندگی برای سال‌های ۲۰۱۸-۱۹۸۷، سناریوهای تغییر اقلیم با استفاده از مدل ریزمقیاس‌سازی LARS-WG و با سه سناریوی انتشار A2، B1 و A1B در دوره آتی ۲۰۵۰-۲۰۱۸ شبیه‌سازی گردید. در مورد تغییرات بارش در دوره آتی ۲۰۵۰-۲۰۱۸ نسبت به سال پایه، می‌توان گفت که مقدار میانگین تغییرات بارش برای سناریوهای انتشار B1،AIB و A2 به ترتیب از ۲۱ تا ۳۸ درصد متغیر است. همچنین در دوره آتی ۲۰۵۰-۲۰۱۸ تحت سناریوی A2 مقدار متوسط دمای سالانه ۲/۵ درجه سانتی‌گراد نسبت به دوره پایه ۲۰۱۸-۱۹۸۷ افزایش خواهد یافت. این مقادیر برای سناریو B1 و A1B اندکی کمتر می‌باشد. به طوریکه تحت این

سناریوها مقدار متوسط دمای سالانه به ترتیب ۲/۴ و ۱/۷ درجه سانتی‌گراد نسبت به سال پایه افزایش خواهد یافت. با بررسی سناریوهای انتشار گازهای گلخانه‌ای در دوره آتی، سناریوی A2 به عنوان وخیم‌ترین سناریوی انتشار (حساسیت بالا در دوره‌های آتی) شناخته گردید. در این راستا نتایج تحقیق کاظم‌زاده و همکاران (۱۹) در حوضه آجی‌چای نشان داد که طی دوره زمانی سال‌های ۲۰۹۱-۲۰۱۰ دمای حداقل و دمای حداکثر تحت دو سناریوی A2 و B2 افزایشی خواهد بود. همچنین نتایج تحقیقات ساری صراف و همکاران (۳۵) که به بررسی اثرات تغییر اقلیم در شهرهای واقع در حوضه دریاچه ارومیه پرداخته بودند موید آن بود دمای متوسط منطقه به میزان ۰/۰۶ درجه سانتی‌گراد در سال افزایش و بارندگی در حدود ۴ میلی‌متر در سال کاهش را نشان می‌دهد. نتایج مطالعات ثانی خانی و همکاران (۳۴)، احمدی‌فر و همکاران (۲) و میرموسوی و همکاران (۲۵) همسو با نتایج تحقیق حاضر است.

جدول ۱- درصد تغییرات سطح زیرکشت در اثر سناریوهای تغییر اقلیم
Table 1- Changes in cropping area under climate changes scenarios (%)

		سطح زیر کشت (هکتار) Cropping area (hectare)	درصد تغییرات سطح زیرکشت در سناریوهای تغییر اقلیم Percentage of variation in cropping area under climate change scenarios		
آبخوان Aquifer	محصول Crop	سال پایه Base year	A2	B1	A1B
سراب Sarab	گندم آبی (Irrigated wheat)	5209	+48.5	+39.4	+37.4
	جو آبی (Irrigated barley)	1535	+131.5	+108.3	+112.2
	علوفه (Alfalfa)	6502	-52.8	-46.1	-49.4
	سیب‌زمینی (Potato)	2356	-38.3	-31.1	-33.7
	لوبیا (Bean)	548	-38.1	-33.2	-31.4
	کل (Total)	16150	0	-1.22	-3.14
اسبفروشان ۱ Asbforushan1	گندم آبی (Irrigated wheat)	4588	+13.8	+5.1	+5.1
	جو آبی (Irrigated barley)	1183	+34.6	+26.9	+27.3
	علوفه (Alfalfa)	2747	-35.6	-28.5	-28.3
	سیب‌زمینی (Potato)	269	-19.1	-21.2	-21.2
	لوبیا (Bean)	62	-22.9	-16.6	-20.3
	کل (Total)	8849	-1.2	-3.36	-3.27
اسبفروشان ۲ Asbforushan2	گندم آبی (Irrigated wheat)	1254	+9.9	+5.3	+7.1
	جو آبی (Irrigated barley)	406	+43.6	+21.6	+36.3
	علوفه (Alfalfa)	895	-24.6	-17.9	-18.3
	سیب‌زمینی (Potato)	262	-27.7	-22.1	-26.6
	لوبیا (Bean)	55	-44.1	-39.7	-40
	کل (Total)	2872	-0.6	-3	-0.7
دوزدوزان Duzduzan	گندم آبی (Irrigated wheat)	2629	+1.1	-4.2	-2.2
	جو آبی (Irrigated barley)	636	+61.4	+49.4	+54.6
	علوفه (Alfalfa)	683	+37.1	+12.3	+25.7
	سیب‌زمینی (Potato)	1612	-20.6	-23.6	-23.4
	لوبیا (Bean)	480	-71.1	-68.3	-63.6
	کل (Total)	6040	-1.3	-6.96	-3.6
مهربان ۱ Mehraban 1	گندم آبی (Irrigated wheat)	1721	+7.4	+5.2	+5.8
	جو آبی (Irrigated barley)	444	+47.5	+45.4	+48
	علوفه (Alfalfa)	1002	-9.3	-12.7	-8.7
	سیب‌زمینی (Potato)	567	-25.3	-18.9	-22.3
	لوبیا (Bean)	118	-86.9	-79.5	-77.3
	کل (Total)	3852	0	-0.96	+0.2

مأخذ: یافته‌های تحقیق

Source: research findings

در ایــن مطالعــه، مــدل WEAP بــرای شــبیه‌ســازی وضــعیت هیدرولوژیک حوضه آجی چای بکار گرفته شد. سال ۲۰۱۸ به عنـوان سال پایه و دوره ۲۰۵۰-۲۰۱۸ به عنوان سناریو مرجع در نظـر گرفتـه شد. سناریو مرجع بیانگر ادامه اوضاع موجود بـدون تغییـر اساسـی در سیاست‌های مدیریتی در آینده می‌باشد. از نظـر اقلیمـی نیـز در ایـن سناریو فرض بر این است که اقلیم منطقه در سال‌هـای آینـده تکـرار توالی سال‌های گذشته می‌باشد. به منظور تشکیل مـدل برنامـه‌ریـزی درجه دوم توام با ریسک در منطقه مطالعاتی به دلیل تفـاوت ضـرایب فنی، منابع موجـود و کشـت محصـولات زراعـی، بـرای هـر منطقـه کشاورزی یک مدل برآورد شد.

در جدول ۱ میزان سطح زیرکشت هر یک از محصـولات در هـر کدام از مناطق کشاورزی در سال پایه (۲۰۱۸) نشان داده شده اسـت. در این منطقه بیشترین سطح زیرکشت مربوط به گندم آبی و کمترین سطح زیرکشت مربوط به لوبیا مـی‌باشـد. تغییـرات سـطح زیرکشـت محصولات زراعی در اثـر تغییـر اقلـیم در سـه سـناریو انتشـار نشـان می‌دهد که بیشترین میزان تغییرات سطح زیرکشت مربوط به سـناریو انتشار A2 می‌باشد چراکه این سناریو به عنوان وخیم‌تـرین سـناریوی تغییر اقلیم شناخته گردید. در منطقه کشاورزی سراب علوفه بیشـترین کاهش سطح زیرکشت را داشته است، علت آن نیاز آبـی بـالای ایـن محصول در شرایط تغییر اقلیم (A2) است که تا ۵۲/۸ درصـد، سـطح زیرکشت آن کاهش می‌یابد. البته هر چند سیب‌زمینـی در طـول دوره کشت آب بیشتری نسبت به علوفه مصرف می‌کند، اما به دلیـل سـود بالا سطح زیرکشت آن، کاهش کمتری داشته است. همچنـین سـطح زیرکشت گندم و جو نیز به ترتیب ۴۸/۵ و ۱۳۱/۵ درصد افزایش یافته است که علت آن کم بودن نیاز آبی این دو محصول نسبت بـه سـایر محصولات می‌باشد. در سناریو دوم و سوم انتشـار (B1 و A1B) نیـز سطح زیرکشت محصولات سیب‌زمینی، علوفه و لوبیا کاهش و سـطح زیرکشت گندم و جو افزایش یافته است. همـان‌طـوری کـه مشـاهده می‌شود اثرات تغییر اقلیم در آبخوان‌ها، متفاوت بـوده کـه علـت آن‌را می‌توان به وجود تفاوت در محدودیت‌هـای فنـی نظیـر دسترسـی بـه منابع آب و سایر نهاده‌ها عنوان کرد. در همه آبخوان‌های موردمطالعـه سطح زیرکشت محصولات گندم و جو بـدلیل پـایین بـودن نیـاز آبـی نسبت به سایر محصولات افزایش یافته و سطح زیرکشت سیب‌زمینی، لوبیا و یونجه (به جز آبخوان دوزدوزان) کاهش یافته است. در آبخوان دوزدوزان در اثر تغییر اقلیم سطح زیرکشت یونجه افـزایش یافتـه کـه علت آن را می‌توان به بالا بودن راندمان آبیـاری (۴۴ درصـد) در ایـن آبخوان نسبت به سایر آبخوان‌ها (۴۱ درصـد) عنـوان کـرد. همچنـین چاه‌های بهره‌برداری در ایـن آبخـوان بـه دلیـل ضـخامت زیـاد آن از آبدهی بسیار بالایی برخوردار بوده و چرخه هیدروژئولوژیکی و پتانسیل آبی این آبخوان مقادیر بالایی را نشان می‌دهد.

جدول ۲- درصد تغییرات عملکرد و نیاز آبی محصولات در اثر تغییر اقلیم

Table 2- Changes in crop yield and water requirment under climate changes scenarios (%)

	Reference Scenario		A2 Scenario		B1 Scenario		A1B Scenario	
محصول Crop	عملکرد Yield (Tone)	نیاز آبی Water requirement (m^3)	درصد تغییر عملکرد Variation in yield	درصد تغییر نیاز آبی Variation in water requirement (%)	درصد تغییر عملکرد Variation in yield (%)	درصد تغییر نیاز آبی Variation in water requirement (%)	درصد تغییر عملکرد Variation in yield (%)	درصد تغییر نیاز آبی Variation in water requirement (%)
گندم (Wheat)	5.16	3923	-9.5	+8.3	-7.1	+6.7	-8.3	+7.9
جو (Barley)	3.23	3923	-8.8	+7.2	-5.4	+6.2	-5.3	+6.7
سیب‌زمینی (Potato)	27.61	7584	-17	+11	-9.6	+9.5	-13	+10.5
علوفه (Alfalfa)	10.68	6904	-11	+9.8	-7.5	+8.8	-8.7	+9.4
لوبیا (Bean)	2.5	5591	-13	+14	-10.9	+11.5	-11.5	+12.8

مآخذ: یافته‌های تحقیق

Source: research findings

نتایج شبیه‌سازی نشان داد کـه در اثـر تغییـر اقلـیم آینـده تحـت سناریوهای مختلف انتشار عملکرد محصولات روند کاهشی نسبت بـه سناریو مرجع خواهند داشـت. بیشـترین کـاهش عملکـرد مربـوط بـه سناریو انتشار A2 می‌باشد. در میان محصولات مـورد بررسـی تحـت

سناریوی انتشار A2 سیب‌زمینی با ۱۷ درصد بیشترین کاهش عملکرد را خواهد داشت. عملکرد گندم و جو نسبت به سایر محصولات کاهش کمتری را نشان می‌دهد که نشان‌دهنده مناسب بودن شرایط اقلیم مانند میانگین دما و طول فصل رشد است. به همین دلیل این دو محصول سطح زیرکشت بالاتری در سناریوهای اقلیمی دارا هستند. اثرات تغییر اقلیم آینده بر خصوصیات رشد و نمو گیاهان، برآیند دو عامل افزایش دما و کاهش بارندگی خواهد بود. از این‌رو از تغییر اقلیم و گرم شدن هوا در آینده می‌توان به عنوان یک خطر جدی برای کاهش عملکرد و درآمد زارعین نام برد که طبعا منجر به کاهش انگیزه تولید می‌گردد.

نتایج نشان داد که طی دوره ۲۰۵۰-۲۰۱۸ نیاز آبی محصولات مورد بررسی افزایش خواهد یافت. بیشترین میزان افزایش نیاز آبی محصولات مربوط به سناریوی انتشار A2 می‌باشد، به طوری که نیاز آبی لوبیا تحت سناریو انتشار A2، ۱۴ درصد نسبت به سناریو مرجع افزایش خواهد یافت و نیاز آبی آن از ۵۵۹۱ متر مکعب در یک هکتار به ۶۳۷۴ متر مکعب در سناریو تغییر اقلیم شدید خواهد رسید. نیاز آبی جو نسبت به سایر محصولات افزایش کمتری داشته که تا حدودی بیانگر سازگاری آن با تغییر اقلیم می‌باشد.

در جدول (۳) نتایج اعمال سناریو تغییر اقلیم بر میزان آب در دسترس و قابلیت اطمینان تأمین آب نواحی مختلف کشاورزی این زیر حوضه طی دوره زمانی ۲۰۵۰-۲۰۱۸ گزارش‌شده است. براساس نتایج حاصله با وقوع تغییر اقلیم، آب در دسترس و قابلیت اطمینان عرضه آب در نواحی کشاورزی مختلف به میزان چشمگیری کاهش می‌یابد، به‌گونه‌ای که تغییر اقلیم موجب کاهش میانگین آب در دسترس کل مناطق آبیاری به میزان ۲۱/۹۲ درصد می‌شود، اما اثر تغییر اقلیم بر میزان آب در دسترس مناطق کشاورزی متفاوت می‌باشد. مقدار آب در دسترس منطقه اسبفروشان ۲ به میزان ۳۱/۰۱ درصد کاهش می‌یابد، این در حالی است که در منطقه سراب میزان کاهش به ۱۲/۲۹ درصد می‌رسد. در واقع قرار گرفتن ناحیه کشاورزی اسبفروشان ۲ در پایین‌دست حوضه آبریز آجی‌چای، موجب تشدید اثرات تغییر اقلیم بر میزان آب در دسترس شده است.

درصد اطمینان‌پذیری سیستم در برآورد تقاضای هر کدام از آبخوان‌ها طی سناریو تغییر اقلیم (A2) در جدول (۳) نشان داده شده است. براساس نتایج اگر در تمام سال‌های پیش‌رو در یک افق بلندمدت مقدار آب موجود در اثر کاهش بارندگی و افزایش دما کاهش داشته باشد، احتمال اینکه تقاضای آبخوان سراب به طور کامل تامین شود ۷۴/۳۱ درصد است. همچنین با احتمال ۷۶/۷۱ درصد تقاضا در منطقه کشاورزی اسبفروشان ۱ تامین خواهد شد. بعلاوه احتمال تامین نیاز آبی کشاورزی اسبفروشان ۲، دوزدوزان و مهربان به ترتیب ۵۵/۷۱، ۷۵/۴۱ و ۶۲/۳۵ درصد است. این نتیجه حاکی از پایین بودن احتمال تامین آب در بخش کشاورزی می‌باشد و تایید می‌کند که در اثر تغییر اقلیم شدید بیشترین فشار بر بخش کشاورزی وارد خواهد شد. همچنین میانگین قابلیت اطمینان تأمین آب زیر حوضه نیز از ۸۴/۹۳ به ۶۲/۳۵ درصد رسیده است.

جدول ۳- مقایسه آب در دسترس و قابلیت اطمینان عرضه آب در حالت پایه و سناریو تغییر اقلیم

Table 3- The comparison of available water and the water reliability in base and climate change scenario

آبخوان Aquifer	راندمان آبیاری Irrigation efficiency	Reference scenario آب در دسترس Available water (mm^3)	Reference scenario قابلیت اطمینان Reliability (%)	A2 Climate change scenario آب در دسترس Available water (% Δ)	A2 Climate change scenario قابلیت اطمینان Reliability (%)
سراب (Sarab)	41	132.57	93.68	-12.29	74.31
اسبفروشان ۱ (Asbforushan 1)	41	66.6	89.34	-18.21	76.71
اسبفروشان ۲ (Asbforushan 2)	41	21.9	71.42	-31.01	55.71
دوزدوزان (Duzduzan)	44	45.6	83.12	-25.81	75.41
مهربان ۱ (Mehraban 1)	43	34.43	87.10	-22.32	62.35
میانگین (Average)	42	60.22	84.93	-21.92	68.89

مأخذ: یافته‌های تحقیق — Source: research findings

در گام بعد اثر سناریوهای مدیریت منابع آب بر سود، الگوی کشت و اشتغال نیروی کار کشاورزان منطقه بدست آمد. سناریوهای در نظر گرفته شده در این مطالعه شامل کاهش سهم مصرف آب کشاورزی به میزان ۲۰ درصد و افزایش راندمان آبیاری می‌باشد. جدول ۴ درصد تغییرات سود کشاورزان طی اجرای سناریو کاهش سهم آب بخش کشاورزی و همین‌طوری اعمال این سناریو به دنبال تغییر اقلیم را نشان می‌دهد. با توجه به جدول ۴ ملاحظه می‌شود با اعمال سناریو کاهش سهم آب بخش کشاورزی به همراه سناریوهای انتشار تغییر اقلیم، سود در هر یک از مناطق نسبت به سناریو مرجع کاهش می‌یابد. بیشترین میزان کاهش سود مربوط به سناریو کاهش

سهم آب بخش کشاورزی به همراه سناریو انتشار A2 می‌باشد. به عنوان مثال سود منطقه کشاورزی دوزدوزان با اجرای سناریو کاهش سهم آب بخش کشاورزی و به دنبال سناریو انتشار A2 حدود ۱۸ درصد نسبت به سناریو مرجع کاهش می‌یابد. بیشترین میزان کاهش سود ناشی از اجرای این سناریو مربوط به منطقه اسبفروشان ۲ با ۲۸ درصد کاهش نسبت به مرجع می‌باشد. کاهش سود می‌تواند ناشی از کاهش عملکرد محصولات به دنبال تغییر اقلیم باشد.

جدول ٤- درصد تغییرات سود کشاورزان در سناریو کاهش سهم آب بخش کشاورزی نسبت به سناریو مرجع

Table 4- Changes in farmers profit under reducing the share of agricultural water scenario compared to the reference scenario (%)

آبخوان Aquifer	سناریو کاهش سهم آب بخش کشاورزی Reducing the share of agricultural water	سناریوی کاهش سهم آب بخش کشاورزی به همراه سناریو تغییرات اقلیم Reducing the share of agricultural water along with climate change scenario		
		A2	B1	A1B
سراب (Sarab)	-12	-22	-16.4	-19
اسبفروشان ۱ (Asbforushan 1)	-16	-20	-16.8	-17.4
اسبفروشان ۲ (Asbforushan 2)	-18	-28	-20.1	-22.3
دوزدوزان (Duzduzan)	-13	-18	-17.2	-17.3
مهربان ۱ (Mehraban 1)	-8	-15	-11.1	-13.3

مآخذ: یافته‌های تحقیق

Source: Research Finding

سود حاصل از کشت محصولات زراعی هر زیر حوضه در اثر اجرای سناریو افزایش راندمان آبیاری (EFF) در سناریو مرجع و همین‌طور اجرای این سناریو همراه با سناریوهای انتشار تغییر اقلیم (CC) در جدول (۵) گزارش گردیده است. در کلیه زیرحوضه‌های تحت بررسی با افزایش راندمان آبیاری میزان سود آن زیرحوضه افزایش یافته است. به عنوان نمونه در منطقه کشاورزی دوزدوزان مقدار سود به اندازه ۱۶ درصد نسبت به سناریو مرجع افزایش نشان می‌دهد. بیشترین میزان افزایش سود در این سناریو مربوط به سراب با ۱۸ درصد و کمترین آن مربوط به اسبفروشان ۲ با ۱۲ درصد بوده است. نتایج جدول (۵) موید آن است که اجرای این سناریو همراه با سناریو تغییر اقلیم منجر به افزایش سود در هر یک از مناطق می‌گردد. از این‌رو با افزایش راندمان آبیاری، علاوه بر استفاده مفید و موثر از آب تخصیصی به کشاورزی، رفاه کشاورزان هر یک از مناطق با توجه به سود مناسب‌تر، حفظ خواهد شد.

جدول ٥- درصد تغییرات سود کشاورزان در سناریو افزایش راندمان آبیاری نسبت به سناریو مرجع

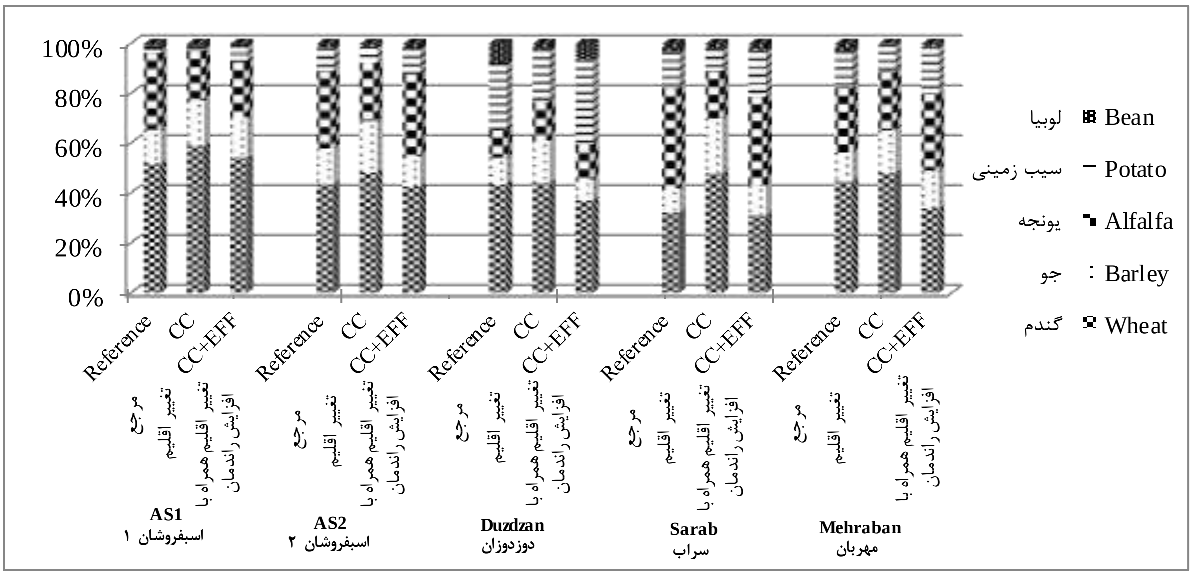
Table 5- Changes in farmer's profit under increasing irrigation efficiency scenario compared to the reference scenario (%)

آبخوان Aquifer	سناریوی افزایش راندمان آبیاری Increasing irrigation efficiency scenario	سناریوی افزایش راندمان آبیاری به همرا سناریو تغییرات اقلیم Increasing irrigation efficiency scenario along with climate change scenario		
		A2	**B1**	**A1B**
سراب (Sarab)	+18	+9	+12	+11
اسبفروشان ۱ (Asbforushan 1)	+13	+6.1	+11	+7.3
اسبفروشان ۲ (Asbforushan 2)	+12	+1.4	+3.3	+3.2
دوزدوزان (Duzduzan)	+16	+3.8	+8.9	+7.6
مهربان ۱ (Mehraban 1)	+15	+10.3	+11.2	+9

مآخذ: یافته‌های تحقیق

Source: Research findings

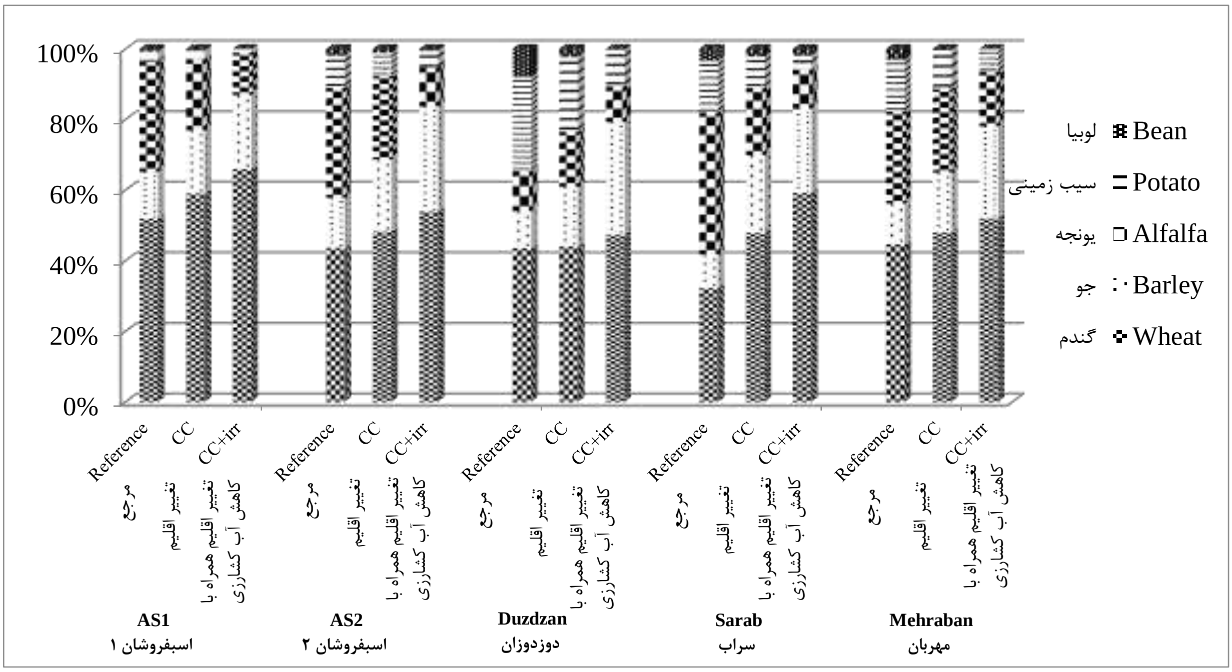
از طریق شبیه‌سازی حوضه آبریز آجی چای در شهرستان سراب و پیاده‌سازی مدل هیدرولوژیکی منطقه، مقادیر آب تخصیصی به بخش کشاورزی با اعمال سناریوهای کاهش سهم آب بخش کشاورزی و افزایش راندمان آبیاری بواسطه توسعه سیستم‌های آبیاری در اثر تغییر اقلیم بدست آمد. نتایج خروجی مقدار آب تخصیصی بخش کشاورزی با سیاست‌های اعمال شده در مدل WEAP، به عنوان داده ورودی به مدل برنامه‌ریزی درجه دوم توام با ریسک وارد شد و در محدودیت مربوط به آب در مدل مورد استفاده قرار گرفت و واکنش کشاورزان در تعیین الگوی کشت منطقه بدست آمد.



شکل ۳- درصد تغییرات الگوی کشت تحت سناریو افزایش راندمان آبیاری

Figure 3- Changes in cropping pattern under increasing irrigation efficiency scenario (%)

شکل ۳ سهم هر کدام از محصولات در الگوی کشت هر یـک از مناطق مورد مطالعه در سناریوهای مرجـع (reference)، تغییـر اقلـیم (CC) و همچنین تغییر اقلیم همراه با سناریو افزایش رانـدمان آبیـاری (CC+EFF) را نشان می‌دهد. همان‌طور که نمودار نشان می‌دهـد در سناریو تغییر اقلـیم کشـاورزان تقاضـای آب را کـاهش داده و الگـوی کشت خود را به سمت محصولات کم‌مصرف آب تغییر مـی‌دهنـد بـه طوری‌که سهم محصولات علوفه‌جات، سیب‌زمینی و لوبیـا در الگـوی کشت کاهش یافته و برعکس سهم سطح زیرکشت گندم و جو نسبت به سناریو مرجع افزایش یافته است.



شکل ٤- درصد تغییرات الگوی کشت تحت سناریو کاهش سهم آب بخش کشاورزی

Figure 4- Changes in cropping pattern under reducing the share of agricultural water scenario (%)

اجرای همزمان سناریو افزایش راندمان آبیاری بـه همـراه سـناریو تغییر اقلیم باعث می‌گردد سطح زیرکشـت محصـولات سـیب‌زمینـی، لوبیا و علوفه نسبت به سناریوی مرجع نیز افزایش یابد. در واقع اجرای این سناریو با افزایش سـود کشـاورزان و کـاهش مصـرف آب همـراه خواهد شد.

ترکیب الگوی کشت در سناریو کاهش سهم آب بخـش (AWR) در مقایسه با سناریو مرجع و سناریو تغییـر اقلـیم تغییـر کـرده اسـت. چنانچه در شکل ۴ مشاهده می‌شود الگـوی کشـت در سـناریو تغییـر اقلیم باعث گردیده که سطح زیرکشت محصولات با نیـاز آبـی بـالاتر کاهش یابد. همچنین اجرای سناریو کاهش سهم آب بخش کشاورزی جهت مقابله با کم آبی همراه با سناریو تغییر اقلیم باعث گردیده سطح زیرکشت محصولات با نیاز آبی بالاتر به میـزان قابـل تـوجهی کمتـر شود. سیب‌زمینی با اینکه نیاز آبی بالاتری نسـبت بـه لوبیـا و علوفـه داشته با این حال کاهش سطح زیرکشت آن کمتر از سایر محصولات بوده است که علت آن بالا بودن سود بـرای کشـاورزان منطقـه بـوده است. کشاورزان عکس‌العمل ثابتی را نسبت به تغییرات میزان آب‌های سطحی و زیرزمینی و بارش در اثر تغییر اقلیم نشان نمی‌دهنـد و ایـن مساله به سود ناسی از کشت هر محصول و مقـدار آب مصـرفی آن و سایر نهاده‌ها بستگی دارد ولی به طـور کلـی الگـوی کشـت بـه نفـع محصولات با نیاز آبی پایین‌تر و سود بالاتر تغییر می‌کند.

پرداختن به اشتغال ضمن مشخص کردن وضعیت فعلـی شـاغلین نشان می‌دهد در صورت تغییر اقلـیم شـدید و کـاهش آب کشـاورزی بدون در نظر گرفتن مشاغل جایگزی، چه تعداد شغل با تهدیـد روبـرو خواهند شد. در شهرستان سراب شاغلین بخش کشاورزی نسـبت بـه کل شاغلین، بیشترین تعداد را دارد. سـهم اشـتغال بخـش کشـاورزی شهرستان سراب ۳/۹ برابر بیشتر از متوسط اشتغال کشاورزی حوضـه است. بدین ترتیب استنباط می‌شود که در شهرستان سراب، کشاورزی دارای وابستگی بیشتری به حوضه آجی چای است. در جدول ۶ درصد تغییرات اشتغال نیروی‌کار در هر یک از سناریوهای مدیریتی به همراه سناریو تغییر اقلیم گزارش شده است.

جدول ٦- درصد تغییرات نیروی‌کار در سناریوهای مدیریتی نسبت به سناریو مرجع

Table 6- Changes in labor use under management scenarios compared to reference scenario (%)

آبخوان Aquifer	سناریوی تغییر اقلیم A2 A2 Climate change scenario	سناریو کاهش سهم آب بخش کشاورزی Reducing the share of agricultural water scenario	سناریوی افزایش راندمان آبیاری Increasing irrigation efficiency scenario	سناریو کاهش سهم آب کشاورزی همراه با A2 Reducing the share of agricultural water and A2 scenarios	سناریوی افزایش راندمان آبیاری همراه با A2 Increasing irrigation efficiency and A2 scenarios
سراب (Sarab)	-18	-7	-13	-23	-28
اسبفروشان ۱ (Asbforushan 1)	-11	-4	-7	-12	-16
اسبفروشان ۲ (Asbforushan 2)	-9.9	-4.5	-6	-14	-14.5
دوزدوزان (Duzduzan)	-14.5	-6	-9	-16	-20
مهربان ۱ (Mehraban 1)	-19	-8	-9.5	-21	-26
میانگین (Average)	-14.48	-5.9	-8.9	-17.2	-20.9

مأخذ: یافته‌های تحقیق

Source Research findings

در اثر تغییر اقلیم در سناریو انتشار A2، متوسط اشتغال کشاورزی در منطقه با کاهش ۱۴/۴۸ درصدی مواجـه مـی‌شـود. تحـت سـناریو کم‌آبیاری بدون سناریو تغییر اقلیم اشتغال نیـروی‌کـار بـه میـزان ۵/۹ درصد و در سناریوی افزایش رانـدمان آبیـاری بـه میـزان ۸/۹ درصـد کاهش می‌یابد. اعمال سناریو کم‌آبیاری همراه بـا تغییـر اقلـیم گرچـه باعث کاهش مصرف آب می‌گردد ولی از طرف دیگر با کاهش سـطح زیرکشت محصولات کاربر، باعث کـاهش اشـتغال ۱۷/۲ درصـدی در منطقه می‌گردد. سناریو افزایش راندمان آبیاری به همراه تغییـر اقلـیم نیز باعث کاهش اشتغال در منطقه به انـدازه ۲۰/۹ درصـد مـی‌گـردد. بیشترین میزان کاهش اشتغال در سناریوهای کاهش سهم آب بخـش کشاورزی و افزایش راندمان همراه با سـناریو انتشـار A2 مربـوط بـه منطقه سراب است که به ترتیب ۲۳ و ۲۸ درصد کاهش می‌یابد. بهبود راندمان آبیاری از طریق توسعه روش‌های نوین آبیاری از جمله آبیاری قطره‌ای و بارانی صورت می‌گیرد. بدیهی است بکارگیری این روش‌ها

موجب کاهش نیروی‌کار مورد نیاز در مرحله آبیاری محصولات می‌گردد. به عنوان مثال در منطقه مورد مطالعه برای تولید سیب‌زمینی در سیستم آبیاری بارانی به طور متوسط ۸ نفر روز در هکتار نیروی‌کار لازم بوده، در حالی که در سیستم آبیاری سنتی این میزان به ۱۵ نفر روز در هکتار می‌رسد. از این‌رو در سناریو افزایش راندمان آبیاری اشتغال کاهش بیشتری را نشان می‌دهد.

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

این مطالعه با ارائه یک مدل هیدرو- اقتصادی به دنبال پر کردن شکاف تحقیقات گذشته در ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر زیربخش زراعت است. براساس نتایج در شرایط تغییر اقلیم به دنبال افزایش دما و کاهش بارندگی، ذخایر آبخوان‌ها و دبی رود آجی چای کاهش خواهد یافت. کاهش منابع آب در دسترس کشاورزی منجر به تغییر الگوی کشت و کاهش سطح زیرکشت محصولات آب‌بر خواهد شد. به طور کلی الگوی کشت به نفع محصولات با آب مصرفی کم و سود بیشتر تغییر می‌کند. نتایج مطالعه مانتا و همکاران (۲۳) همسو با یافته‌های پژوهش نشان داد که کشاورزان در مقابل کاهش بارندگی به صورت حداقل کردن اثرات آن بر سود پاسخ می‌دهند. نتایج مطالعه کهیل و همکاران (۱۸) و مرید و مساح بوانی (۲۶) بیانگر این است که بهترین پاسخ کشاورزان به شرایط کمبود آب تغییر الگوی کشت می‌باشد.

در بین محصولات مورد بررسی بیشترین کاهش سطح زیرکشت مربوط به محصول لوبیا است که دلیل آن نیاز آبی بالای محصول عنوان می‌شود. در مقابل محصول سیب‌زمینی علی‌رغم نیاز آبی بالاتر از لوبیا به دلیل اینکه سود بالاتری نسبت به لوبیا دارد کاهش سطح زیر کشت کمتری را تجربه می‌کند. نتایج مطالعه لی و همکاران (۲۰) نیز این امر را تایید می‌کند. آنها به این نتیجه رسیدند که کشاورزان در شرایط خشکسالی به تولید محصولاتی می‌پردازند که ضمن داشتن نیاز آبی کمتر، به ازای هر واحد آب ارزش بیشتری تولید نماید. مطابق یافته‌ها در منطقه مورد مطالعه، گندم و بخصوص جو می‌توانند مقاومت بیشتری به تغییرات اقلیم داشته باشند، لذا تغییر الگوی کشت مسلما از راهکارهای سازگار با تغییر اقلیم می‌تواند محسوب گردد.

در اثر تغییر اقلیم کاهش کاربری نیروی‌کار به وجود می‌آید. به دلیل کاهش سطح زیرکشت محصولاتی که نیاز به نیروی کار فراوانی دارند (سیب‌زمینی و لوبیا)، خروج نیروی کار از کشاورزی به وجود می‌آید. با توجه به اینکه اجازه تغییر کاربری اراضی کشاورزی در این منطقه به کشاورزان داده نمی‌شود، با خروج کشاورزان از حرفه تخصصی خود، مشاغل کاذب رشد چشمگیری خواهد داشت. این امر به طور غیر مستقیم سبب به وجود آمدن پیامدهای اجتماعی منفی می‌گردد. نتایج مطالعه سلامی و همکاران (۳۳) در ارزیابی اثرات خشکسالی بر بخش کشاورزی ایران حکایت از کاهش اشتغال بخش کشاورزی دارد. به علاوه مطالعه قریشی و همکاران (۲۹) و استیو و همکاران (۱۱) کاهش اشتغال در بخش کشاورزی را تایید می‌کند.

با توجه به اهمیت نهاده آب، مساله بهبود راندمان آبیاری بسیار مهم تلقی می‌شود. متوسط راندمان آبیاری در منطقه ۴۲ درصد است و این مقدار با بهبود تکنولوژی‌های آبیاری قابل بهبود است. به منظور مقابله با اثرات تغییر اقلیم و سازگاری با آن افزایش راندمان آبیاری در منطقه می‌تواند به حداقل کردن اثرات این پدیده کمک کند.

اعمال سناریو کاهش سهم آب بخش کشاورزی نشان داد که گرچه اعمال این سیاست در اثر تغییر اقلیم باعث کاهش مصرف نهاده کمیاب آب می‌گردد ولی از طرفی باعث کاهش سود و اشتغال بخش کشاورزی می‌شود. اعمال سیاست افزایش راندمان آبیاری نیز باعث افزایش سود و کاهش مصرف آب می‌گردد ولی از طرفی نیز بر اشتغال بخش کشاورزی تاثیری منفی دارد. نتایج اعمال سیاست بیانگر این موضوع است که اعمال سیاست‌ها به تنهایی راهکار مناسبی برای برگرداندن سطح آب به شرایط مطلوب نیست، لذا نیاز است که چندین سیاست به طور هم‌زمان در این منطقه اعمال شود تا بتوان نتیجه مناسب‌تری بدست آورد.

در مجموع نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که در صورت ثابت ماندن روش‌های مدیریتی به احتمال زیاد در آینده‌ی نزدیک، عملکرد محصولات در حوضه آجی چای کاهش چشمگیری خواهد یافت. در این بین بهینه‌سازی روش‌های مدیریتی، انتخاب زمان کاشت و برداشت بهینه، مطالعه و امکان‌سنجی استفاده از محصولاتی با طول دوره رشد کوتاه‌تر و استفاده از ارقام با عملکرد بالاتر می‌تواند جزو راهکارهای مقابله با اثرات تغییر اقلیم مدنظر قرار گیرند. در این مطالعه از مدل برنامه‌ریزی درجه دوم توام با ریسک در مدل اقتصادی استفاده گردید که پیشنهاد می‌شود جهت اطمینان از صحت نتایج حاصله و داشتن درک واقع بینانه از شرایط حاکم بر منطقه، در مطالعات آینده از الگوی برنامه‌ریزی ریاضی مثبت (PMP) در برآورد مدل هیدرو–اقتصادی بهره گرفته شده و با یافته‌های تحقیق حاضر مقایسه شود.

سپاسگزاری

این مقاله برگرفته از طرح پژوهشی به شماره ۹۷۰۲۵۵۰۷ است که با حمایت صندوق پژوهشگران و فناوران کشور (Iran National Science Foundation: INSF) از رساله دکتری با عنوان "اثرات اقتصادی تغییر اقلیم و سناریوهای مدیریت منابع آب بر زیربخش زراعت در حوضه آبریز آجی‌چای (مطالعه موردی: دشت سراب)" انجام شده است. نویسندگان مقاله از صندوق حمایت از پژوهشگران و فناوران کشور سپاسگزاری می‌نمایند.

منابع

1- Agriculture– Jihad Organization of East Azerbaijan. 2018. Available Online at: https://www.eaj.ir/.
2- Ahmadifar R., Mousavi S.M., and Rahimzadegan M. 2020. Investigating the effects of climate change on groundwater (case study: Sarab Plain). Water and Soil Science 30(1): 153-166. (In Persian with English abstract)
3- Alefi KH., Dashti G., and Ghahremanzadeh M. 2018. The impact of climatic factors on land use change between annually crops groups in Iran: application of spatial fractional multinomial logit model. Agricultural Economics 11(4): 21-40. (In Persian with English abstract)
4- Allen R.G., Pereira L.S., Raes D., and Smith M. 1998. Crop evapotranspiration-guidelines for computing crop water requirements-FAO Irrigation and drainage paper 56. FAO, Rome. 300(9): D05109.
5- Amin A., Iqbal J., Asghar A., and Ribbe L. 2018. Analysis of current and future water demands in the upper Indus basin under IPCC climate and socio-economic scenarios using a hydro-economic WEAP model. Water 10(5): 1-20.
6- Binswanger H.P. 1980. Attitudes toward risk: experimental measurement in rural India. American Journal of Agricultural Economics 62(3): 395-407.
7- Blanco- Gutiérrez I., Varela-Ortega C., and Purkey D. 2013. Integrated assessment of policy interventions for promoting sustainable irrigation in semi-arid environments: a hydro-economic modeling approach. Journal of Environmental Management 128:144–160.
8- Buysse J., Van Huylenbroeck G., and Lauwers L. 2007. Normative, positive and econometric mathematical programming as tools for incorporation of multifunctionality in agricultural policy modeling. Agriculture, Ecosystems & Environment 120: 70-81.
9- Cattivelli L., Rizza F., Badeck F.W., Mazzucotelli E., Mastrangelo A.M., Francia E., Mare C., Tondelli A., and Michele Stanca A. 2008. Drought tolerance improvement in crop plants: an integrated view from breeding to genomics. Field Crops Research 105: 1-14.
10- Chavas J.P. 2004. Risk analysis in theory and practice. Elsevier Academic Press.
11- Esteve P., Varela-Ortega C., Blanco-Gutiérrez I., and Downing T.E. 2015. A hydro-economic model for the assessment of climate change impacts and adaptation in irrigated agriculture. Ecological Economics 120: 49-58.
12- FAO, WFP., and IFAD. 2012. The state of food insecurity in the world: economic growth is necessary but not sufficient to accelerate reduction of hunger and malnutrition, food and agricultural organization of the United Nations (FAO), the international fund for agricultural development (IFAD), and the world food programming (WFP), FAO, Rome, Italy.
13- Foster T., Brozović N., and Butler A.P. 2014. Modeling irrigation behavior in groundwater systems. Water Resource Research 50: 6370–6389.
14- Friedman M., and Savage L.J. 1948. The utility analysis of choices involving risk. The Journal of Political Economy 56: 279-304.
15- Groves D.G., Yates D., and Tebaldi C. 2008. Developing and applying uncertain global climate change projections for regional water management planning. Water Resources Research 44: 1-16.
16- GWP (Global Water Partnership). 2000. Integrated water resources management. Global water partnership TAC background Paper 4. Stockholm, Sweeden.
17- Hazell P.B., and Norton R.D. 1986. Mathematical programming for economic analysis in agriculture. Macmillan, New York.
18- Kahil M.T., Dinar A., and Albic J. 2015. Modeling water scarcity and droughts for policy adaptation to climate change in arid and semiarid regions. Journal of Hydrology 522: 95-102.
19- Kazemzadeh M., Malekian A., Moghaddam Nia A., and Khalighi Sigaroudi Sh. 2019. Evaluation of climate change impacts on hydrological characteristics of watershed (case study: Aji- Chai Watershed). Iran Watershed Management Science & Engineering 13(45): 1-12. (In Persian with English abstract)
20- Lee H., Sumner D. and Howtt R. 2001. Potential economic impacts of irrigation-water reductions estimated for Sacramento Valley. California Agriculture 55(2): 33-40.
21- Mahmoodi A., and Parhizkari A. 2015. Economic analysis of the climate change impacts on products yield, cropping pattern and farmer's gross margin (case study: Qazvin plain). Journal of Economic Growth and Development Research 5(3): 25-40. (In Persian with English abstract)
22- Mainuddin M., Kirby M., and Qureshi M.E. 2007. Integrated hydrologic-economic modelling for analyzing water acquisition strategies in the Murray River Basin. Agricultural Water Management 93: 123-135.
23- Maneta M.P., Torres M.O., Wallender W.W., Vosti S., Howitt R., Rodrigues L., Bassoi L.H., and Panday S. 2009. A spatially distributed hydro economic model to assess the effects of drought on land use, farm profits, and agricultural employment. Water Resources Research 45: 1-19.
24- Medellan-Azuara J., Harou J.J., and Howitt R.E. 2010. Estimating economic value of agricultural water under changing conditions and the effects of spatial aggregation. Science of Total Environment 408(3): 5639–5648.

25- Mirmusavi SH. 2005. The study of oscillations of temperature and precipitation in the North-West of Iran in order to assessment of the changes of climate elements trend. PhD thesis, Physical Geography, University of Tabriz. (In Persian with English abstract)
26- Morid S., and Massah Bavani A.R.M. 2010. Exploration of potential adaptation strategies to climate change in the Zayandeh Rud irrigation system, Iran. Irrigation and Drainage 59(2): 226-238.
27- Parhizkari A. 2018. Evaluate the effects of climate change impertinence on agricultural production and farmer's income situation in down lands of Taleghan dam. Journal of agricultural Economics Research 9(36): 125-152. (In Persian with English abstract)
28- Purkey D.R., Joyce B., Vicuna S., Hanemann M.W., Dale L.L., Yates D and Dracup J.A.J. 2008. Robust analysis of future climate change impacts on water for agriculture and other sectors: a case study in the Sacramento Valley. Climatic Change 87: 109-122.
29- Qureshi M.E., Ahmad M.U.D., Whitten S.M. and Kirby M. 2014. A multi-period positive mathematical programming approach for assessing economic impact of drought in the Murray-Darling Basin, Australia. Economic Modelling 39: 293-304.
30- Rafiei Darani H., Kohansal M.R., Ghorbani M., and Saboohi M. 2017. An integrated hydro-economic modeling to evaluate marketing reform policies of agricultural products. Bulgarian Journal of Agricultural Science 2(2): 189–197.
31- Rosenzweig M.R., and Binswanger H.P. 1992. Wealth, weather risk, and the composition and profitability of agricultural investments. The Economic Journal 103(416): 56-78.
32- Salahi B., Valizadeh kamran K.H., and Ghavidel Rahimi Y. 2008. The simulation of Tabriz temperature and precipitation in atmospheric carbon dioxide doubling condition using Goddard institute of space studies general circulation model (GIS GCM). Geographical Research Quarterly 39(62): 55-66. (In Persian with English abstract)
33- Salami H., Shahnooshi N., and Thomson K.J. 2009. The economic impacts of drought on the economy of Iran: An integration of linear programming and macro econometric modeling approaches. Ecological Economics 68(4): 1032-1039.
34- Sanikhani H., Dinpajoh Y., Pour Yusef S., Ghavidel S.Z., and Solati B. 2014. The impacts of climate change on runoff in watersheds (case study: Ajichay watershed in East Azerbaijan province, Iran). Journal of Water and Soil 27(6): 1225-1234. (In Persian with English abstract)
35- Sarie Sarraf B., Jalali Ansaroodi T., and Sarafrouzeh F. 2015. The effects of global warming on the climate of cities located in the Urmia Lake Basin. Biannual Journal of Urban Ecology Researches 6(2): 33-48. (In Persian with English abstract)
36- Sieber J., and Purkey D. 2011. User guide for WEAP21 (water evaluation and planning system). Stockholm Environment Institute. Available online from: www. weap21.org.
37- ULRP. 2018. Urmia Lake Restoration Program. www. http://www.ulrp.ir.
38- Varela-Ortega C., Blanco-Gutie´rrez I., Esteve P., Bharwani S., Fronzek S., and Downing T.E. 2016. How can irrigated agriculture adapt to climate change? Insights from the Guadiana basin in Spain. Regional Environmental Change 16(1): 59–70.
39- Varela-Ortega C., Blanco-Gutiérrez I., Swartz C., and Downing T.E. 2011. Balancing groundwater conservation and rural livelihoods under water and climate uncertainties: an integrated hydro-economic modeling framework. Global Environmental Change 21(2): 604-619.
40- Veijalainen N., Dubrovin T., Marttunen M., and Vehvileinen B. 2010. Climate change impacts on water resources and lake regulation in the Vuoksi watershed in Finland. Water Resource Management 24: 3437-3459.
41- Von Neuman J., and Morgenstern O. 1944. Theory of games and economic behavior. Princeton University Press, Princeton, NJ.
42- Zahedi M., Sari Saraf B., and Jameei J. 2007. The analysis of spatio-temporal variations of temperature in the North-West of Iran. Geography and Development 5(10): 183-197. (In Persian with English abstract)
43- Zhang P., Zhang J., and Chen M. 2017. Economic impacts of climate change on agriculture: the importance of additional climatic variables other than temperature and precipitation. Journal of Environmental Economics and Management 83: 8-31.

Journal of Agricultural Economics and Development
Vol. 34, No. 4, Winter 2021, p. 483-501

نشریه اقتصاد و توسعه کشاورزی
جلد ۳۴، شماره ۴، زمستان ۱۳۹۹، ص. ۵۰۱-۴۸۳

The Economic Impacts of Climate Change and Water Resources Management Scenarios on Agronomy Subsector: Using Risk-Based Hydro-Economic Model

F. Sani[1]- Gh. Dashti[2*]- A. Majnooni[3]- J. Hosseinzad[4]

Received: 20-10-2020
Accepted: 11-01-2021

Introduction: Ajichay basin is one of the largest agricultural areas and water consumption in Urmia Lake basin. During the recent years, the impact of climate change on one hand, and human factors on the other hand, have changed Ajichay basin to a center of crisis as it has lost its efficiency in supplying water for Urmia Lake. Having the main branches of Ajichay, Sarab county has a great role in crop production and therefore agricultural water consumption compared to other counties around the basin. Therefore, managing water consumption in Sarab County is suggested to resolve the decreased quality and quantity of water in Ajichay basin. Therefore, the aim of the current study is to investigate the impact of climate and water management scenarios on water resources, cropping pattern, yield, and profits of farmers in Sarab County.

Material and Methods: To achieve the study aims, the hydro-economic model was used. In the economic section, quadratic risk programming model and in the hydrological section, the WEAP-MABIA model was used. The purpose in quadratic risk programming model is to maximize the expected farmers' utility to some technical and structural restrictions. Maximum expected utility of farmers which is calculated by subtracting the risk element from the net income for each crop. MABIA uses a two-part crop coefficient. In the dual crop coefficient approach, the effects of crop transpiration and soil evaporation are determined separately. Two coefficients are used: the basal crop coefficient (Kcb) to describe plant transpiration, and the soil water evaporation coefficient (Ke) to describe evaporation from the soil surface. The current study applied HadCM3, as the general circulation model. LARS-WG was used for downscaling climatic generator and producing rainfall, radiation, and minimum and maximum temperature in a station under A2, B1, and A1B emission scenarios. The period 1987-2018 was used as the base and the future considered period was 2018-2050. All required variables such as information about input values, production quantities, and economic information were collected from 210 questionnaires filled by farmers during 2018 which were selected through stratified random sampling.

Results and Discussion: The results showed that the average rainfall decreased in the range of 21-38% under the emission scenarios of A2, B1, and AIB during 2018-2050 period. In the next period of 2018-2050, the average annual temperature will also increase by 2.5 °C compared to the baseline period under A2 scenario. The results of simulations revealed that the crop yields would undergo a decrease after climate change scenarios. The most considerable yield reduction belongs to A2 scenario in which potato will have the highest yield reduction of 17%. The crop yields of barley and wheat shows a slight reduction. Thus, these two products have larger cropping area in the climatic scenarios**.** The results of climate change indicate a diminishing trend in available water and water supply reliability for agricultural purposes. The available water for irrigation areas had 21.92% decrease after applying climate change scenario**.** The mean for water supply reliability in the sub-basin decrease from 84.93% to 62.35% if the future years continue to have a decrease in rainfall and increase in temperature. By applying the scenario of agricultural water reduction along with climate change scenario, the profit in each region will decrease compared to the reference scenario. The highest reduction rate belongs to Asbforushan 2 area with 28% compared to the reference scenario. The profit in all the sub-bases had a rise after increasing irrigation efficiency scenario. Thus, applying increasing efficiency scenario, in addition to more useful and efficient use of allocated water, will also increase farmers' profits which offer a better situation than the scenario of reducing the share of agricultural water. Among the studied crops, bean had the highest reduction in cultivation, which stemmed from its high-water requirement. However, potato also had a high water requirement compared to bean but maintained a high cropping area due to higher gross profits**.** Findings of the current study revealed that wheat and barley had more resistance against the effects of climate change and shifting the patterns of cropping was an adaptive strategy for coping with the effects of climate change. Climate change reduces the labor employment. As Implementing A2 scenario results in a 14.48% decrease in the average of agricultural employment in the area. The agricultural water reduction scenario alone results in 5.9% decrease in labor,

1, 2 and 4- Ph.D. Student, Professor and Associate Professor of Agricultural Economics, University of Tabriz, respectively.
(*- Corresponding Author Email: ghdashti@yahoo.com)
3- Associate Professor of Water Engineering, University of Tabriz
DOI: 10.22067/jead.2021.17813.0

whereas the increasing irrigation efficiency scenario has an 8.9% decrease. Applying the agricultural water reduction scenario along with climate change reduces the employment by 17.2% in the region by reducing the area under cultivation of crops that require a lot of labor. The increasing irrigation efficiency along with climate change scenario also results in a 20.9% reduction in labor employment**.**

Conclusion: Overall, the findings of the current study revealed that without changing the management strategies there would be a considerable reduction in crop yield in near future. Optimizing management methods, selection of right time for crop cultivation, optimized harvest, studying the feasibility of cultivating crops with shorter growth period and using cultivars with higher yield are the effective ways to confront the effects of climate change. The analysis of scenarios revealed that policies alone cannot compensate for water problems and there is a need for plenty of scenario for optimum results.

Keywords: Ajichay basin, Hydro-economic model, Quadratic risk programming, WEAP-MABIA